ISSN 1992-5980

ВЕСТНИК

ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

100-летию со дня рождения профессора, доктора технических наук Л.В. Красниченко посвящается

Том 8 **№1(36)**

2008

ВЕСТНИК
ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2008

Т.8 №1(36)

Теоретический
и научно-практический журнал

Рекомендован ВАК для публикаций результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата наук по направлениям: «Управление, вычислительная техника и информатика», «Инженерно-агропромышленные специальности»

Издается с 1999 г.

Выходит один раз в квартал

МАРТ 2008 г.

Учредитель – **Донской государственный технический университет**

Главный редактор д-р техн. наук Б.Ч. Месхи

Зам. главного редактора д-р техн. наук И.В. Богуславский

Ответственный секретарь д-р техн. наук В.П. Димитров

Редакционная коллегия:

Направление «Управление, вычислительная техника и информатика»:
д-р техн. наук Р.А.Нейдорф, д-р техн. наук М.Е.Попов,
д-р техн. наук Б.В.Соболь, д-р техн. наук А.К.Тугенгольд

Направление «Инженерно-агропромышленные специальности»:
академик РАСХН, д-р техн. наук И.А.Долгов, д-р техн. наук В.П.Жаров,
д-р техн. наук Ю.И.Ермольев, д-р техн. наук И.А.Хозяев,
д-р техн. наук О.А.Полушкин

Направление «Машиностроение»:
д-р техн. наук А.П.Бабичев, д-р техн.наук В.Л.Заковоротный,
д-р техн. наук А.С.Кужаров, д-р техн. наук В.Ф.Лукьянов,
д-р техн. наук В.Г.Люлько, д-р техн. наук В.Н.Пустовойт,
д-р техн. наук Ю.Н.Резников, д-р техн. наук А.А.Рыжкин,
д-р техн. наук В.С.Сидоренко, д-р техн. наук А.Н.Соловьев,
д-р техн. наук М.А.Тамаркин, д-р техн. наук А.Н.Чукарин

Над номером работали: В.Ф.Лавриченко, Е.В.Хейгетян

Подписано в печать 10.04.2008.
Формат 30x42/8. Гарнитура «Tahoma». Печать офсетная.
Усл.печ.л. 14,0. Тираж 1000 экз. Заказ 140. Цена 100 р.

Адрес редакции:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1,
тел. 2-738-747

Адрес издательского центра:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1,
тел. 2-738-741, 2-738-322
http://www.dstu.edu.ru/vestnik/index.html

Регистрационное свидетельство № ПИ № ФС 10-6367

© Издательский центр ДГТУ, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Рубанов В.В. К юбилею Леонида Васильевича Красниченко..... 3

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Месхи Б.Ч., Люлько А.В., Дрягина М.П., Трифонов А.В. Конструкторско-технологические аспекты проектирования и реализации технологии производства композиционных порошковых материалов и изделий.... 7

Люлько В.Г., Шугай К.К., Люлько А.В., Малофеева С.А. Развитие технологии термосинтеза в вибрирующем слое порошковых микрокомпозитов 13

Вернигоров Ю.М., Плотников Д.М. Конструктивные особенности магнитовибрационного сепаратора..... 30

Витязь П.А., Прохоров О.А., Шелехина В.М., Пилиневич Л.П. Технология изготовления керамических мембранных фильтров с градиентной микро- и нанопористой структурой 37

Кем А.Ю. Технологические особенности переработки мелкодисперсных порошков алюминия..... 43

Зориев И.А. Подшипники скольжения с замкнутой системой циркуляционной смазки..... 50

Вечоровски М., Матушак-Шаранец А., Вечоровски К., Кендзерски Т. Износ режущих кромок пальцевых фрез при фрезеровании шпоночных пазов..... 55

Ильющенко А.Ф., Роман О.В., Шевцов А.И. Формирование элементов неравновесных аморфизированных структур композиционных плазменных покрытий в системе «напыленные частицы – подложка» 62

Барай С.Г., Виолентий Д.Р., Лапко К.Н. Принципиальная технологическая схема создания нанокристаллических ферромагнетиков методом порошковой металлургии..... 69

Мирный В.И. Некоторые вопросы повышения производительности гидравлического привода перфорационного пресса циклического действия.. 75

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

Рощин К.В. Усталостное разрушение выводов радиоэлементов при гармонической и случайной вибрации..... 86

ИНЖЕНЕРНО-АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Сокол Н.А., Гультяев В.В. Результаты экспериментальных исследований ротационного рыхлителя почвы..... 96

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Гальченко Г.А., Логвинов В.И., Тихонов А.А. Нанотехнологии и довузовская подготовка..... 101

Маркарьян Ю.А., Тринц Д.В. Контроль активной мощности электропривода металлорежущих станков..... 106

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

Поздравляем юбиляров..... 108

УДК 613.3

В.В. РУБАНОВ

К ЮБИЛЕЮ ЛЕОНИДА ВАСИЛЬЕВИЧА КРАСНИЧЕНКО

29 апреля исполняется 100 лет со дня рождения Леонида Васильевича Красниченко, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации, почётного доктора Дрезденского технического университета и почётного профессора Донского государственного технического университета, Человека с большой буквы, Учителя.

Леонид Васильевич свой трудовой путь начал в 1923 году в качестве рабочего, с 1930 по 1934г.г. обучался в РИИЖТе, по окончании которого работал на разных руководящих должностях: заместителем директора по учебной работе рабфака завода "Ростсельмаш", директором Института повышения квалификации рабочих, директором техникума сельскохозяйственного машиностроения, парторгом ЦК ВКП(б) на строительстве Бекабатского металлургического комбината. В 1942 году был бойцом Ростовского отряда народного ополчения.

С 1943 года Л.В. Красниченко приступил к исполнению обязанностей директора Ростовского машиностроительного института. Началось возрождение института 18 преподавателями, 48 студентами и двумя вагонами имущества, которые были привезены из Ташкента. В то, ещё военное время, наш институт располагался на территории посёлка "Ростсельмаш".

В 1947 году Ростовский машиностроительный институт переименовывают в Ростовский-на-Дону институт сельхозмашиностроения (РИСХМ). В это время его директор – Л.В. Красниченко – заканчивает диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук на тему: "Влияние режимов резания на чистоту обработанной поверхности серого и ковкого чугуна" и успешно защищает её в Харьковском механико-машиностроительном институте в 1948г., а в 1949 г. ему присвоено учёное звание доцента.

29 марта 1949 года Л.В. Красниченко закладывает первый камень в фундамент нового здания института, а с 1-го сентября 1958г. уже начались занятия в его левом крыле. В 1962 году закончилось строительство, и с тех пор главный корпус вуза украшает Ворошиловский проспект г. Ростова-на-Дону.

Леонид Васильевич обладал природным даром руководителя, организатора, способностью подбирать кадры и работать с ними. С проректорами по административно-хозяйственной работе Шведским М.С. и Железным Д.С. и со всем коллективом сотрудников и студентов, помимо главного здания института, он построил учебно-лабораторный корпус, где разместилась специализированная научно-исследовательская лаборатория сельхоз-

машиностроения; три корпуса Конструкторского факультета; учебный корпус с уникальным литейным цехом, где проводятся лабораторные занятия и выполняются серьёзные литейные заказы.

Одной из главных забот Леонида Васильевича был быт сотрудников и студентов. При его активном участии построено четыре жилых дома для преподавателей и научных сотрудников; восстановлено одно и построено два общежития для студентов, в одном из которых находится Международный факультет и проживают иностранные студенты.

В районе села "Рассвет" создан учебно-опытный полигон для студентов Конструкторского факультета. В Студенческом парке в 1970 году построен современный спортивный корпус, стадион и единственный в России легкоатлетический манеж для студентов. В 1958 году в г. Геленджике на территории Партийной школы, а с 1960 года в посёлке «Дивноморское» создан спортивно-оздоровительный лагерь "Радуга", который в июне работает как пионерский лагерь для школьников-детей сотрудников, а с июля по сентябрь принимает для отдыха студентов и сотрудников. В настоящее время "Радуга" является единственным в России межвузовским спортивно-оздоровительным комплексом, где отдыхают студенты и преподаватели 18 вузов России. В 1966году по инициативе Л.В. Красниченко был построен спортивно-оздоровительный лагерь "Снежинка" в Домбае, который в настоящее время передан Российскому туристическому обществу.

Леонид Васильевич Красниченко был организатором новой формы обучения: одну неделю студенты учатся, а другую работают на профильном предприятии. Так был создан завод-втуз при заводе "Ростсельмаш", филиал РИСХМа, ныне "Ростовская-на-Дону академия сельхозмашиностроения".

Л.В. Красниченко известен как крупный учёный, опытный педагог. С 1948 по 1989 годы он заведовал кафедрой "Технология конструкционных материалов", инициатором создания которой был он сам. В 1958 году за научные труды по разработке технологии электродуговой металлизации, применению псевдосплавов в обратных парах трения, созданию машины трения ему присвоено учёное звание профессора, а после защиты в 1971 году в г. Краснодаре диссертации на тему: "Теоретические и технологические основы газотермического и газопламенного напыления из антифрикционных псевдосплавов" - доктора технических наук.

В 1957 году Леонид Васильевич участвовал в работе Международной конференции по смазке и износу машин в Лондоне, после чего в 1962 году в соавторстве были опубликованы материалы конференции. Это послужило началом работ кафедры ТКМ и созданию научной школы под его руководством по исследованию процессов трения и износа деталей машин. Широкий кругозор, способность поддерживать научные поиски позволили проводить на кафедре научные исследования по следующим направлениям:

- создание безникелевого твёрдого сплава для упрочнения лап культиваторов, по износостойкости превосходящего сплав сормайт в два раза (совместно со Степурским К.Г. и Ялышевым Р.Г.);

- разработка способа переработки отходов чёрных и цветных металлов для создания порошкового конструкционного материала (совместно с Черкесовым Н.Н. и Росс М.Г.);

- разработка технологии омеднения железного порошка (совместно с Литвиненко В.И. и Кишко В.Д.);

- разработка способа поверхностного упрочнения металлических изделий по кривым износа (совместно с Шадчиневым В.А.);

- разработка технологий восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей износостойкими порошковыми материалами и сплавами (совместно с Рубановым В.В. и Колотиенко С.Д.);

- создание технологических процессов довосстановительного отжига железного порошка с целью улучшения его свойств (совместно с Люлько В.Г.) и т.д.

При научном руководстве Л.В. Красниченко аспирантами и соискателями защищено 54 диссертации на соискание учёных степеней кандидатов и докторов технических наук. Леонид Васильевич явился автором более 300 научных работ, 3 монографий, им получено 30 авторских свидетельств на научные изобретения. В соавторстве с В.К. Тепинкичиевым, Н.С.Колевым и А.А. Тихоновым издан учебник для машиностроительных вузов "Металлорежущие станки", прошедший три издания.

На кафедре "Технология конструкционных материалов" за многие годы руководства Леонидом Васильевичем были созданы необходимые для учебного процесса слесарная и станочные лаборатории, лаборатории пластмасс и порошковой металлургии, лекционный зал, учебно-научные лаборатории трения и износа, газотермического напыления, порошковой металлургии, наплавки ТВЧ, которые оснащены необходимым оборудованием и учебно-методическими материалами.

Профессор Л.В. Красниченко вёл большую общественно- научную деятельность, оказывал непрерывную методическую помощь в организации учебного процесса, консультировал работников промышленности по научным проблемам, являлся членом трёх научных Советов по защите докторских и кандидатских диссертаций, членом Учёного совета университета и факультета "Технология машиностроения", членом Совета ветеранов войны и труда города, был председателем общества дружбы "Финляндия – СССР".

За многолетнюю научную и педагогическую деятельность, большой вклад в дело подготовки высококвалифицированных специалистов для народного хозяйства Л.В. Красниченко награждён нагрудным знаком "Почётный работник высшего образования России", ему присвоено звание "Заслуженный деятель науки и техники РФ".

За заслуги перед государством Л.В. Красниченко награждён орденами Ленина, "Красная Звезда", "Знак Почёта" и 15 медалями.

Будучи старейшим членом КПСС, Л.В. Красниченко постоянно вёл активную партийную и общественную работу. Он неоднократно избирался в партийные областные, городские и районные органы власти, а также был постоянным членом парткома института

Профессор Л.В. Красниченко уделял много внимания воспитательной работе среди студентов, аспирантов и преподавателей университета, пользовался заслуженным авторитетом и уважением в коллективе. У него была красная записная книжечка, куда он заносил фамилии ещё никому неизвестных студентов, аспирантов и молодых учёных, которые в дальнейшем продолжили его дело, стали руководителями разных рангов не только в нашем вузе, но и нашей страны.

В 1992 году Леонид Васильевич приветствовал преобразование РИСХМа в Донской государственный технический университет, поскольку считал, что тогдашний вуз перестал быть вузом сельскохозяйственного машиностроения и фактически превратился в центр науки и образования на Северном Кавказе.

Представленные в настоящем «Вестнике ДГТУ» работы ученых разных школ, созданных под влиянием работ профессора Л.В.Красниченко, отражают современное состояние технологии новых материалов, полученных газотермическим и плазменным напылением, порошковой металлургией, технологией композитов, наплавкой и напеканием порошковых шихт, а также свойства современных прогрессивных материалов.

Так будем же достойны памяти необыкновенного человека и сделаем всё для процветания родного Университета, для становления и развития которого так много сделал Леонид Васильевич Красниченко.

Материал поступил в редакцию 18.02.08.

РУБАНОВ Владилен Васильевич (р. 1939), заведующий кафедрой "Технология конструкционных материалов" ДГТУ, профессор (1991), доктор технических наук (1990), заслуженный работник высшей школы Российской Федерации (2001). Окончил РИСХМ (1961).

Научные интересы связаны с исследованием упрочнения и восстановления рабочих поверхностей тяжелонагруженных пар трения индукционной наплавкой.

Автор более 150 научных трудов, 14 авторских свидетельств СССР и патентов Российской Федерации. Изобретатель СССР (1979). Среди его учеников 6 кандидатов и 2 доктора технических наук.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.762

Б.Ч.МЕСХИ, А.В.ЛЮЛЬКО, М.П.ДРЯГИНА, А.В.ТРИФОНОВ

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Раскрыта концепция проектирования и рациональной организации производства материалов и изделий из порошковых композиций оригинальных составов типа «Fe-P», «Fe-Sn-P», «Fe-Si-P» (где P=1,0-3,0%, Sn=1,5-2,0%, Si=1,0-3,5%, остальное – железо). Проанализированы конструкторско-технологические и экологические аспекты подготовки и реализации такого производства на примере изготовления электротехнических функциональных изделий – ротора и статора элетродвигателя – с учетом функций производственного персонала и экологических требований.
Ключевые слова: *порошковые композиты, конструирование изделий, экологические преимущества, электротехнические изделия.*

Введение. Активное развитие и становление на промышленную основу какой-либо технологии невозможно без постоянного мониторинга ее функционирования. В этом аспекте эффективное использование технологии порошковой металлургии и композиционных материалов, оказавшимися наиболее близкими к созданию и реализации, в том числе и наноструктурированных материалов, а также накопленный огромный «банк» данных по свойствам разнообразных металлокомпозитов и изделий ставят задачу обобщения полученных знаний и их адаптивное использование при проектировании, прогнозировании, диагностике и тестировании этапов предподготовки и реализации многозвенного, технологически, экономически и экологически непростого процесса [1-3].

Основным преимуществом технологии порошковых композитов является высокое материалосбережение, характеризующееся коэффициентом использования материала на уровне 96 %, хотя нет особых ограничений для подъёма этого показателя до 99,9 % и создания практически безотходного, экологически безопасного производства.

Именно с этой точки зрения проанализируем постановку на производство и рациональную организацию с конструкторско-технологической и экологической точек зрения, хотя бы по отдельным аспектам, производство цельнопрессованных объемных элементов из композиционных магнитномягких материалов взамен вырубных из электротехнической стали (коэффициент использования материала едва ли 50%), свариваемых или клепаных в пакетную конструкцию, пропитываемую лаком-изолятором.

Состояние вопроса. Из анализа применимости хорошо видно, что электроагрегаты промышленного и бытового назначения различных типов (электродвигатели приводов машин, персональный компьютер в сборе, домашняя техника– электроинструменты, пылесосы, миксеры, фены, детские игрушки с электроприводом и т.п.) прочно вошли в повседневную жизне-

деятельность. От обилия в быту и на производстве различного электрооборудования и его некоторого избытка с закономерными негативными последствиями (тепло-, магнито- радиоизлучение, шум, вибрации, пыль, дискомфорт от длительного пребывания) время от времени появляется необходимость решения экологических вопросов, связанных как с безопасными условиями их эксплуатации и защитой от перечисленного воздействия, так и утилизации (рециклингом) их элементов по мере их ремонта и замены.

Микроэлектродвигатели малой мощности (несколько десятков ватт) для электронно-вычислительной техники (исполнительные приводы принтеров, драйверов, вентиляторы, кулеры плат и радиаторов) и бытовых электроагрегатов (миксеры, блендеры, кофемолки, фены, компактные электроинструменты на автономном питании и др.) занимают огромную нишу электромашиностроения и приборостроения. Сюда же можно отнести и современные электроагрегаты малой мощности для работы в автомобилях (стеклоподъёмники, электробензонанасосы, электрогенераторы и др.), которые постоянно совершенствуются в направлении их миниатюризации и повышении надежности.

Прогрессивной тенденцией в настоящее время является использование в конструкциях такого электрооборудования элементов из порошковых композиций, экологические аспекты их применения выглядят достаточно привлекательно и перспективно [4]. Приведем оригинальные составы, конструкции и свойства композитов: слоистые и цельнопрессованные металлокомпозиты на основе спеченного порошкового железа систем «Fe-P», «Fe-Sn-P», «Fe-Si-P» (где P=1,0-3,0%, Sn=1,5-2,0%, Si=1,0-3,5%, остальное – железо), комбинированные конструкции «металл-пластик» и др. вместо пакетированных из дорогой электротехнической стали [5,6]. Такими элементами являются, например, С-образные полюсные наконечники, Ш-П-Г-Т-О-I-образные сердечники дросселей, соленоидов и трансформаторов. Электроагрегаты с цельнопрессованными или наборными из двух-трех заготовок порошковыми элементами обладают повышенной надежностью благодаря упрощению конструкции. Практика показывает, что такие конструкции наиболее технологичны в случае использования технологии порошковых композитов типа *SMC Technology* (<Soft Magnetic Composite>) [4], основу которой составляет традиционная технология прессования-спекания (400-700МПа; 1100^{o}C; один час) или теплое прессование композиции с пластификатором до плотности 7,0-7,2 г/см^{3}.

Этапы проектирования и реализации. Сотрудниками Донского государственного технического университета (ДГТУ) с партнерами накоплен достаточный опыт в проектировании, создании и диагностике подобных материалов, конструировании и производстве отдельных элементов и конструкции в целом [1,2,5-8,9], позволяющих указать достигнутые преимущества и перспективы расширенного использования, в том числе материалов нового поколения с наноразмерными и наноструктурными составляющими [10]. В этом смысле технология порошковой металлургии, её классическое преимущество в необходимом заданном композиционировании материалов, материало- и энергосбережении рационально сочетается с экологическими требованиями производства и безопасностью эксплуатации и утилизации.

Это предполагает возможность исключения из технологии и проведения рационализации конструкторско-технологического цикла, а именно:

- заменить вырубку (раскрой) фасонных тонколистовых элементов статора или ротора электродвигателя, сердечника трансформатора из полосовых или листовых заготовок на формование (прессование объёмной заготовки – цилиндра, призматической заготовки нужного профиля; экструзия или инжекционное формование стержневой заготовки) из металлокомпозита соответствующего состава (чаще на основе экологически безопасного железного порошка) с соответствующей значительной (40-60%) экономией дорогого дефицитного электротехнического материала;

- устранить сварку или клепку тонколистовых заготовок в пакет как экологически не безопасных операций;

- исключить пропитку собранного пакета химически активными и вредными лаками (с соответствующими органическими растворителями), а также сушку, очистку, нейтрализацию отходов, тем самым убрав элемент «грязного» производства;

- уменьшить механическую обработку (растачивание центрального отверстия в статоре, фрезерование центрирующего паза, сверление балансировочных отверстий и углублений) собранного пакета с соответствующим уменьшением отходов в виде стружки и смазочно-охлаждающей жидкости;

- применить новый рациональный дизайн электроагрегатов: например, возможна компоновка вентильно-индукторного привода (ВИП) с двумя порошковыми магнитопроводами уменьшенной массы (на 15-20% каждый). На одном из них, обычно на неподвижном (статоре), располагается обмотка сосредоточенного типа (как в трансформаторе или обмотке возбуждения машины постоянного тока) (рис.1,б), а ротор является безобмоточным, порошковым из металлокомпозита (рис.2), с низкой стоимостью производства, экономией электротехнических материалов (стали-железа и меди);

а) б)

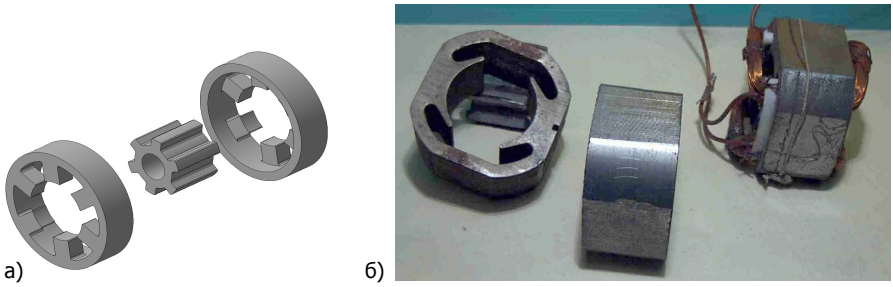


Рис.1.3D-дизайн конструкции элементов (ротор-статор) электродвигателя (а) и внешний вид прессованного «статора» из порошковой композиции конструкции ДГТУ-РГУПС – ИПМНАНУ г.Киев взамен пакетированного (б)

- максимально удовлетворить экологические требования, параметры производственной безопасности, психолого-физиологические характеристики производственного персонала, а именно:

- организовать «закрытую» (герметичные рукава, экраны, прецизионные сопряжения дозаторов порошков и накопителей готовой продукции) систему подачи и транспортировки порошковых компонентов (железа,

меди, графита, присадок), повысив тем самым коэффициент использования материала и сведя практически до нуля его потери, устранить пыление тонких фракций материала (особенно графита) и его воздействие на персонал;

Рис.2. Внешний вид безобмоточного прессованного из порошковой композиции на основе железа «ротора», насаженного на рабочий вал электродвигателя (конструкция ДГТУ-ООО «Сапфир», г.Ростов-н/Д)

- проанализировать и рационализировать эргономику рабочего места персонала (прессовщика, спекальщика, экспедитора);

- рационализировать логистику межоперационных переходов. На основе анализа «графов» перемещений минимизировать все транспортные издержки, заменив традиционный наземный транспорт (электрокары, авто-, мотороллеры) на конвейеры (подвесные, тяговые) и трубопроводный пневмотранспорт.

Необходимо реализовать как важнейший аспект промышленной безопасности – системно-информационный подход, предполагающий разработку полипараметрической методологии исследования физиологических процессов с использованием средств искусственного интеллекта и компьютерной когнитивной графики по методикам: виброизображения, показателя стресса, акмеологической диагностики [7,8], т.е. внедрить систему контроля психофизиологического состояния человека. При этом система может и обязана определить наличие стресса, усталости, а также заметить неадекватность поведения персонала с ответом на вопрос, «устал-не устал».

Возможно также проведение реабилитационных мероприятий персонала, предлагаемых в системе организации производства [9].

Социально важным является также предусмотрение вне зоны производства, т.е. в сфере эксплуатации и использования продукции следующих мероприятий:

- упростить утилизацию объёмных порошковых элементов, сведя её к размолу в порошок или переплавке без необходимости выпаривания (травления) лака, мойки, сушки;

- разработать технологию селективного сбора вторсырья и рециклинга продукции из порошковых и полимерных композитов.

Выводы. Таким образом, совокупность созданных и реализованных конструкторско-технологических и прогнозируемых экологических обстоятельств [1-6,9], а также тот факт, что в Ростовской области находится по существу единственное в стране специализированное производство уникальной продукции – железных порошков разного качества и свойств, а также высокий рациональный фактор «качество/цена» делают предлагаемую технологию композитов экономически, технологически и экологически привлекательной.

Библиографический список

1. Meschi B. et al. Mathematical Model Of Vibrations As An Element Of Regulation Of Ability To Live In PM. Euro-PM-2003. Valensia, Spain. Proc, 2003. Vol.3. – P. 130-133.

2. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник; под ред. Ю.В.Левинского / Б.Н.Бабич, Е.В.Вершинина, В.Г.Люлько, С.С.Набойченко, О.Н.Фомина и др. – М.: Экомет, 2005. – 520 с.

3. Design and Capabilities of PM Components and Materials. Powder metallurgy Training Courses. Aachen, Germany 3-11, Sept, 2005. – 600 p.

4. Soft Magnetic Composite Technology. SMC-Update. Hoganes AB. Sweden. – № 2, 2003. – 8 p. № 1, 2005. – 4 p.

5. Св. № 2005611223 об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ. Проектирование многокомпонентных порошковых материалов по симплекс-диаграммам и оптимизация их свойств / Б.Б.Жмайлов, А.В.Люлько и др. – Бюл. ФИПС, 2005. – №3. – С.109.

6. *Люлько В.Г.* Железо-фосфорные композиционные материалы для изготовления роторов электродвигателей малой мощности / В.Г.Люлько, Г.Г. Даннингер, В.А.Маслюк и др. // Технология … порошковых и композиционных функциональных материалов: сб.тр.науч.-техн.конф. – Ростов н/Д, 2003. – С.38-43.

7. *Носс И.Н.* Акмеологическая диагностика государственных служащих / И.Н.Носс; под ред. А.А.Деркача. – М.: Изд-во МГОУ, 2007.

8. *Носс И.Н.* Введение в технологию психодиагностики / И.Н. Носс. – М.: Изд-во Ин-та психотерапии, 2003.

9. *Месхи Б.Ч.* Разработка принципов компьютерной диагностики психофизиологических состояний человека как метода оценки профессиональной готовности персонала / Б.Ч.Месхи, М.П.Дрягина и др.: сб.мат. Междунар.науч.-техн.конф. «Эффективные техпроцессы». – Ростов н/Д, 2007. – С. 268-273.

10. *Левинский Ю.В.* Внутреннеокисленные и внутреннеазотированные наноматериалы / Ю.В.Левинский. – М.: Экомет, 2007. – 400 с.

Материал поступил в редакцию 04.03.08.

B.C.MESHI, A.V.LYULKO, M.P.DRYAGINA, A.V.TRIFONOV

DESIGN, TECHNOLOGICAL AND ECOLOGICAL ASPECTS OF DESIGNING AND REALIZATION OF TECHNOLOGY MANUFACTURING POWDER COMPOSITIONS MATERIALS AND PRODUCTS

Set of the created design and technology and predicted ecological circumstances, and also the existing and accessible specialized manufacture of unique production – iron powders of different quality and properties, and also high universality and a good adaptability of powder metallurgy technology to application in various areas of technics (technical equipment), the high rational factor « quality/ price » make technology of composites economically, technologically and ecologically attractive.

МЕСХИ Бесарион Чохоевич (р.1959), ректор Донского государственного технического университета (2007), заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», доктор технических наук (2005), профессор. Окончил РИСХМ (1981) по специальности «Сельскохозяйственные машины».
Научные интересы: проблемы экологии и защиты окружающей среды, новые композиционные материалы и технологии.
Автор более 50 научных и методических работ.

ЛЮЛЬКО Артем Валерьевич (р.1977), старший научный сотрудник ДГТУ, руководитель лаборатории (2003) «Порошковая металлургия». Окончил ДГТУ (1999). Действительный член Европейской ассоциации порошковой металлургии (ЕПМА), участник международного (Австрия-Россия-Украина) проекта Евросоюза по порошковым материалам (2004-2007 гг.).
Научные интересы: общая технология порошковой металлургии, моделирование процессов формирования свойств композиционных материалов, в том числе инструментальных покрытий, информационные технологии в технике.
Автор более 30 печатных работ.

ДРЯГИНА Мария Павловна, аспирантка кафедры "Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды». Окончила ДГТУ (2006) по специальности «Профессиональное обучение».
Научные интересы: психолого-физиологические аспекты управления персоналом в технологических процессах (в частности, в технологии порошковой металлургии и композиционных материалов), моделирование процессов поведения и принятия решений в разных производственных ситуациях.
Автор 6 печатных работ, лауреат региональных конкурсов НИРС и выставки «МетМаш.Станкоинструмент-2006».

ТРОФИМОВ Антон Викторович (р.1985), соискатель научного звания по кафедры «Технология конструкционных материалов». Окончил ДГТУ (2007) по специальности «Технология литейного производства».
Научные интересы: новые методы литья и композиционные материалы, моделирование и информационные технологии в технике.
Автор 4 печатных работ.

УДК 621.762.2:621.762.5

В.Г.ЛЮЛЬКО, К.К.ШУГАЙ, А.В.ЛЮЛЬКО, С.А.МАЛОФЕЕВА

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОСИНТЕЗА В ВИБРИРУЮЩЕМ СЛОЕ ПОРОШКОВЫХ МИКРОКОМПОЗИТОВ

Проанализировано современное состояние научных изысканий и технологии получения функциональных порошковых материалов разнообразного назначения – конструкционных, электротехнических, абразивных – из предварительно подготовленных дисперсных порошков-микрокомпозитов. Основополагающим приемом новых технологических подходов является кратковременный термосинтез компонентов в вибрирующем слое, позволяющий зафиксировать некоторую связь исходных составляющих в виде «матричный порошок + металлические и металлоидные присадки».

Ключевые слова: *порошковые микрокомпозиты, термосинтез, вибрирующий слой, моделирование, композиционные материалы, симплексные диаграммы, спеченные материалы.*

Введение. Технологии новых материалов, к каковым относятся композиционные порошковые, предполагают непрерывное совершенствование приемов и рецептур с целью обеспечения востребованных функциональных свойств. Порошковая металлургия как научное и технологическое направление, базирующееся в своей основе на приемах композиционирования и последующей консолидации дисперсных сред, имеет поистине неограниченные возможности в фиксации разнообразных составов, а значит, и обеспечении требуемых служебных свойств композиционных материалов. Один из таких приемов – термообработка (термосинтез, терморафинирование, термостабилизация), предложенный около 30 лет назад профессором Л.В. Красниченко [1-3], выделился к настоящему времени в самостоятельное технологическое направление по обеспечению разнообразных функциональных свойств новых разновидностей и модификаций порошковых материалов [4-7].

Динамика формирования и фиксация свойств порошковых материалов существенно зависят от состояния исходных порошков и композиций, их подготовленности и поведения при прессовании и спекании. В частности, существенным является создание и выигрышное использование синтезированного из исходной частицы-микрокомпозита, в своей основе отражающей легированное (гомо- или гетерогенное, градиентное, точечное, оболочковое или слоистое) состояние будущего композиционного материала.

Разнообразные приёмы и виды легирования (композиционирования) порошковых шихт с введением субкомпонентов как финишная операция подготовки шихты к переработке существенно влияют на формирование свойств готового продукта. Тенденцией настоящего времени является создание уже на начальном этапе такого конфигурационно-морфологического вида отдельной частицы или конгломерата, который обеспечивал бы максимальную степень восприимчивости (консолидации) ими прилагаемого технологического воздействия: усилия прессования,

температуры и времени спекания, финишной термообработки. Такие связанные («склеенные», предлегированные) порошки на основе железа, меди, металлических сплавов и др., называемые премиксами, создают ведущие фирмы-производители и успешно реализуют для обеспечения повышенного уровня свойств порошковых изделий, получаемых разнообразными методами, в том числе чрезвычайно популярным сегодня прецизионным инжекционным формованием [8-11]. Следует подчеркнуть, что само дисперсное состояние исходных компонентов – порошков и порошковых покрытий (например, ионо-плазменных), микрогранул, волокон, а также формирующиеся в процессе спекания и термообработки переходные зоны (кластеры, продукты микросегрегации, диффузии, жидкофазной ликвации и кристаллизации), создают благоприятные условия для формирования ультра-, мезо-, микро- и нанометрических структур с соответствующим благоприятным эффектом [12- 15].

Проблемы получения и практического применения материалов с такими структурными составляющими находят своё дальнейшее разрешение в прогрессивных технологических приемах. Получение и дополнительная обработка исходных матричных порошков (железа, меди, керамики, алмазов) в виде формирования определенной временной хемосорбированной и/или диффузионно-связанной поверхности и соответствующей морфологии (рельефа, фрактала) как некоторой субстанции матричного материала (например, точечных высокодисперсных оксидов, нитридов), а также целенаправленное нанесение точечных покрытий и так называемое внутреннее азотирование (оксидирование, нитрирование, фосфатирование, сульфидирование и др.) открывают широкие возможности в создании порошков с ультратонкими субмикронными и нанометрическими эффектами, реально проявляющимися в создании композиционных материалов нового уровня свойств [14,15].

Из разнообразных приемов получения композиционных порошков определенные преимущество имеют так называемые «сухие» способы, когда синтез необходимых структур происходит по принципу гетерогенных топохимических реакций. Аппаратурно-технологическое оформление этих процессов обычно включает основной реактор синтеза и вспомогательную систему подготовки и подачи присадочного материала. При этом высокодиспергированное состояние последнего (вплоть до золь-, гель-состояния) предопределяет размерный фактор осаждаемой фазы, вид и интенсивность её роста, характер взаимодействия с матричным материалом. В качестве технологического интенсифицирующего фактора может быть использован прием наложения низкочастотных вибраций на реактор с реагирующими компонентами, помещенный в нагревательное устройство [1-4,16-18].

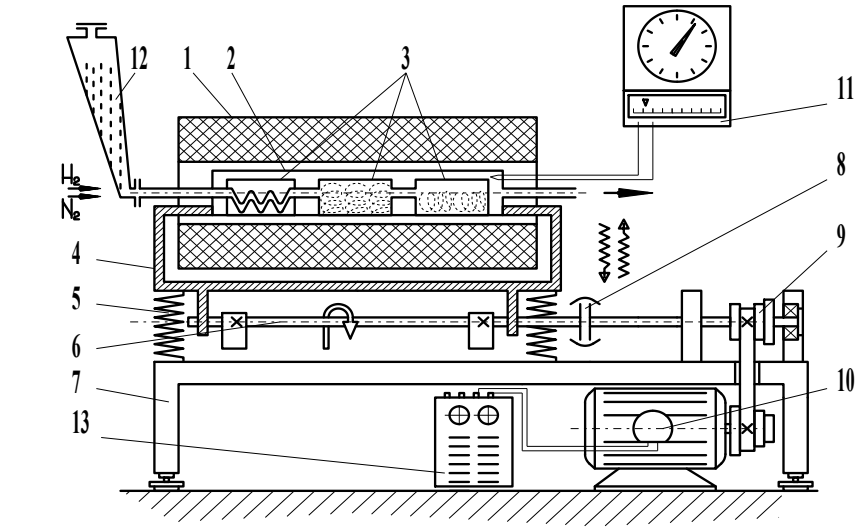
Сущность метода получения композиционных порошков вида «матрица+присадка». Технологический прием в виде наложения низкочастотных (25-50 Гц) вибраций на реактор с порошком является важнейшей предпосылкой успешного решения поставленной задачи создания требуемых композиционных порошков.

Вибрационное псевдоожижение – вибрирующий (виброкипящий, вибровращающийся, вибропульсирующий и т.п.) слой [18] – обеспечивает многократное увеличение объема слоя и его высокопористую структуру, снижает вязкость и устраняет взаимоэкранирование частиц. Специально разработанными приемами вибрационного воздействия возможно разру-

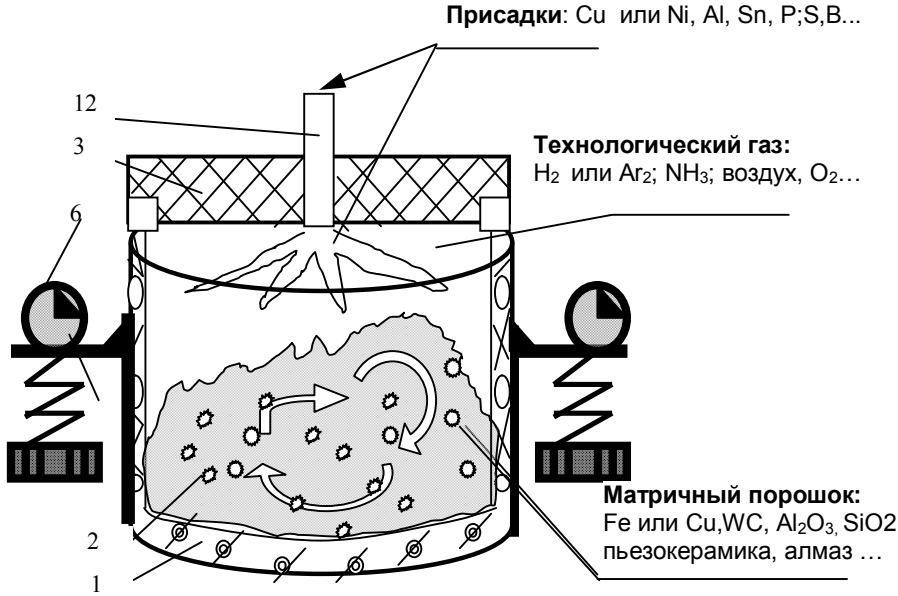
шение когезионных связей частиц, увеличение относительной скорости движения, создание дополнительной турбулентности потока, и тем самым увеличения площади и кратности межфазового взаимодействия с газовой средой, значительной интенсификации процессов тепло- и массообмена. Равномерное распределение температуры и фильтрующего газа, несущего осаждаемый компонент, активное перемешивание дисперсного материала создают благоприятные условия для получения конечных продуктов однородных по составу и свойствам. При этом гетерогенное взаимодействие компонентов осуществляется на уровне индивидуальной частицы, на периферии и в приповерхностном слое которой формируется тонкодисперсная структура присадочного материала или осуществляются микрофазные превращения.

Экспериментальное и пилотное технологическое оборудование. Анализ разнообразных вариантов конструкций установок (вертикального и горизонтального типа, проходные, циклические и др. [1-4,16-18]) и их экспериментальное апробирование позволили создать экспериментальную установку универсального типа для проведения физико-химических и кинетических исследований термосинтеза порошков в вибрирующем слое (рис.1). Ее возможности позволяют в широком диапазоне менять и контролировать рабочие параметры вибрационного псевдоожижения (амплитуда до 8 мм при необходимости, обычно 2-4 мм; частота – 23, 33, 42, 50 Гц, изменяется ступенчато), температурно-временные факторы: температура до 1100 °С; время от 5 мин до нескольких часов; рабочая газовая среда – окислительная, восстановительная, нейтральная, а также вакуум (низкий 10 Па) и автоатмосфера продуктов реакции, разбавляемая нейтральным газом. Сменный рабочий реактор 2 (это может быть закрытый или полуоткрытый контейнер – капсула 3 – их может быть несколько) с обрабатываемым дисперсным материалом находится внутри нагревателя 1, имеющего независимую опору. Сам же реактор жестко связан с вибрирующей рамой 4, опирающейся через пружины 5 на массивное основание 7 установки. Вибрации создаются при вращении механического вибратора 6 от собственного привода 8,9,10 с клиноременной передачей 9 и эластичной предохранительной муфтой 8 или двигателя постоянного тока, имеющего бесступенчатую регулировку скорости вращения от источника постоянного тока 13. Частота вибраций определяется скоростью вращения вибратора (может также регулироваться дополнительно, ступенчато), а амплитуда зависит от положения и массы дебалансных грузов (их две пары) на валевибраторе. Установка может быть дополнена специальными агрегатами пиролиза компонентов: отдельной печью, вакуумной системой или дополнительной продувкой газом [17].

Работает установка следующим образом. Исходный порошок-матрица (Fe; Cu; SiO_2, SS, HSS, керамика, алмазы и др.) загружается в вибрирующий реактор с определенным коэффициентом заполнения, что создает разный характер вибрирующего слоя (вращающийся, фонтанирующий). Одновременно в реактор подается технологическая газовая среда. В зависимости от назначения обработки это может быть воздух (оксидирование и сушка), водород (восстановление), диссоциированный аммиак или азот.



а)



б)

Рис.1. Схема установки горизонтального типа: а – вверху общий вид;
б – сечение реактора установки вертикального типа

Введение присадочного компонента «L» (металлического Cu, Ni, Sn, Si, Al, Zn, металлоидов – P, S, B) обычно осуществляется в виде его кристаллической соли: например, фосфат аммония однозамещенный $(NH_4)H_2PO_4$ как источник фосфора; хлористая медь (CuCl), дихлорид олова ($SnCl_2$) и другие, как носители соответствующего элемента. Подвергаясь пиролизу при рабочей температуре, носитель легирующего элемента образует летучие компоненты, объем и концентрация которых могут быть заранее рассчитаны, и в виде газового облака пронизывает вибрирующий слой

порошка-основы и осаждается на нем. Возможно также доведение легирующей фазы (например, серы) до парогазового состояния в отдельной реторте с последующим ее перенесением, например, азотом в основной реактор и осаждением (конденсацией) на матрице [16, 17].

Выбором термодинамически благоприятных температур процесса взаимодействия "матрица – присадка" обеспечивается по крайней мере первоначальное адсорбционно-механохимическое взаимодействие компонентов, а увеличение времени обработки позволяет закрепить и наращивать осаждаемый слой до получения требуемой толщины.

Моделирование взаимодействия компонентов. Моделирование процессов гетерогенного синтеза композиционных порошков применительно к низколегированным композитам основывается на их структурно-морфологическом состоянии (конфигурационная модель) и порядке тех физико-химических процессов, которые происходят или возможны в реакционном пространстве [19-21]. Строение порошков может представлять собой ядро (сердцевину) основного материала (железо, медь и их сплавы, минералы, керамика) с поверхностными включениями (точками, пятнами, оболочкой) легирующих компонентов (меди, фосфора, серы, бора, железа и др.). Физико-химические процессы, проходящие в реакторе с контролируемой парогазовой фазой, могут обеспечить рафинирование основы (ядра) от нежелательных примесей (оксидов, углерода), осаждение поверхностных присадок (одной или нескольких, одновременно или последовательно), формирование морфологии поверхности частиц и зоны соединения компонентов.

В условиях вибрационного псевдоожижения, когда создается высокопористый слой порошка-основы (обозначим его как "Me"), пронизываемый газом с легирующим компонентом ("L", концентрации C_Lпри потоке $I_L = f(C_L)$, возможно представление каждой частицы порошка на индивидуальном уровне в ее локальном взаимодействии с газовой фазой. Заметим, что в обобщенном представлении под компонентом "L" подразумевается как насыщающая фаза (медь, никель, олово, фосфор, сера и др.), так и удаляемая примесь (кислород, углерод), взаимодействующая с газовыми компонентами (H_2; H_2O; H_2S). Поток газа, легко пронизывая псевдоожиженный слой порошка, исключает затруднения в подводе реагентов к поверхности каждой частицы (отсутствуют затруднения "внешней" диффузии), а экранирование частиц друг друга весьма несущественны.

В соответствии с современными представлениями теории адсорбционно-автокаталитического (диффузионно-кинетического) взаимодействия металлов с газами (основоположником считается профессор С.Т. Ростовцев), процесс может быть разбит на условные элементарные стадии, начиная от подвода газового потока к частице и оканчивая десорбцией газообразных продуктов реакции и их унос с реакционной поверхности.

В результате взаимодействия твердой и газообразной фаз на поверхности частиц формируется поверхностный слой [Me/L + L], толщина которого определяется параметрами термоплакирующей (термодиффузионной) обработки: концентрацией диффузанта, температурой и временем процесса. Собственно искомым является время τ процесса получения необходимого продукта - композиционного порошка с покрытием определенной толщины или чистого порошка с удаленной поверхностной пленкой или фиктивным слоем (характеризуются степенью превращения α, т.е. со-

отношением, например окисленности порошка по O_2 – до и после обработки) при определённых других параметрах.

Обобщенная математическая модель процесса представляет собой совокупность уравнений, описывающих одну или несколько стадий. Практически достаточно частым является описание в форме зависимости технологического времени (τ) обработки или роста шарообразного точечного покрытия радиуса r(τ) от состояния исходного материала α, рабочей температуры (Т) и физических констант: константы скорости реакции K^o, энергии активации Е, газовой постоянной, например:

$$\tau = \left[1-\left(1-\alpha\right)^{\frac{1}{3}}\right]^n / K^\circ \exp\left(-E/RT\right) \quad \begin{matrix}(n=1 - \text{хим. реакция} \\ n=2 \text{ -диффузия})\end{matrix} \qquad (1)$$

$$\tau = k_3 f\left(\alpha, S_{УД}\right) \cong k_3{}' S_{УД}. \quad \begin{matrix}(\text{адсорбция} \\ \text{на поверхности } S_{уд})\end{matrix} \qquad (2)$$

Здесь $[1 - (1-\alpha)^{1/3}] = f^*$ - функция степени превращения (α), вид которой подбирается эмпирически согласно кинетическим закономерностям и физико-химическим признакам модели взаимодействия "частица-газ" с возможностью итерации частных решений по мере развития процесса; $S_{уд}$ – удельная поверхность порошка как изменяющийся фактор при термообработке; численное решение уравнений (1),(2) позволяет охарактеризовать кинетические закономерности процесса, например, по показателю "1≤n≤2", и является основой для выбора технологических параметров термосинтеза порошков-микрокомпозитов. Комбинация уравнений (1)-(2) охватывает все возможные случаи термообработки порошков с рафинированием и насыщением компонентов и может решаться совместно или независимо при фиксированном n = 1; 2.

Технологические возможности термосинтеза в вибрирующем слое порошков-микрокомпозитов [19-24]. Разрабатываемая технология, базирующаяся на многочисленных экспериментальных исследованиях, лабораторных и опытно-промышленных апробациях описанного способа обработки дисперсных материалов, постоянно совершенствуется в части расширения номенклатуры синтезируемых материалов, новых технологических и конструкторских решений [17, 19], что позволяет определить современные направления её использования при получении и термообработке порошков-микрокомпозитов, а именно:

- гомогенизирующая термофиксация твердой смазки или связки (стеарат цинка, моно- и полимеры) на порошке-основе;
- кратковременный (0,2-0,5 ч) довосстановительный или смягчающий отжиг порошков металлов – железа, меди, молибдена, их композиций – перед изготовлением из них изделий;
- довосстановление 92-96%-ного металлосодержащего сырья (губчатое железо, некондиционный порошок меди и др.) как вторая стадия дуплекс-процесса получения качественных порошков;
- получение легированных одним или несколькими элементами порошков железа, меди и др. с поверхностным осаждением из газопаровой фазы (термоплакирование) присадочных компонентов: меди, олова, фосфора, серы, бора и др. с формированием уникальной морфологии поверхности (рис.2);

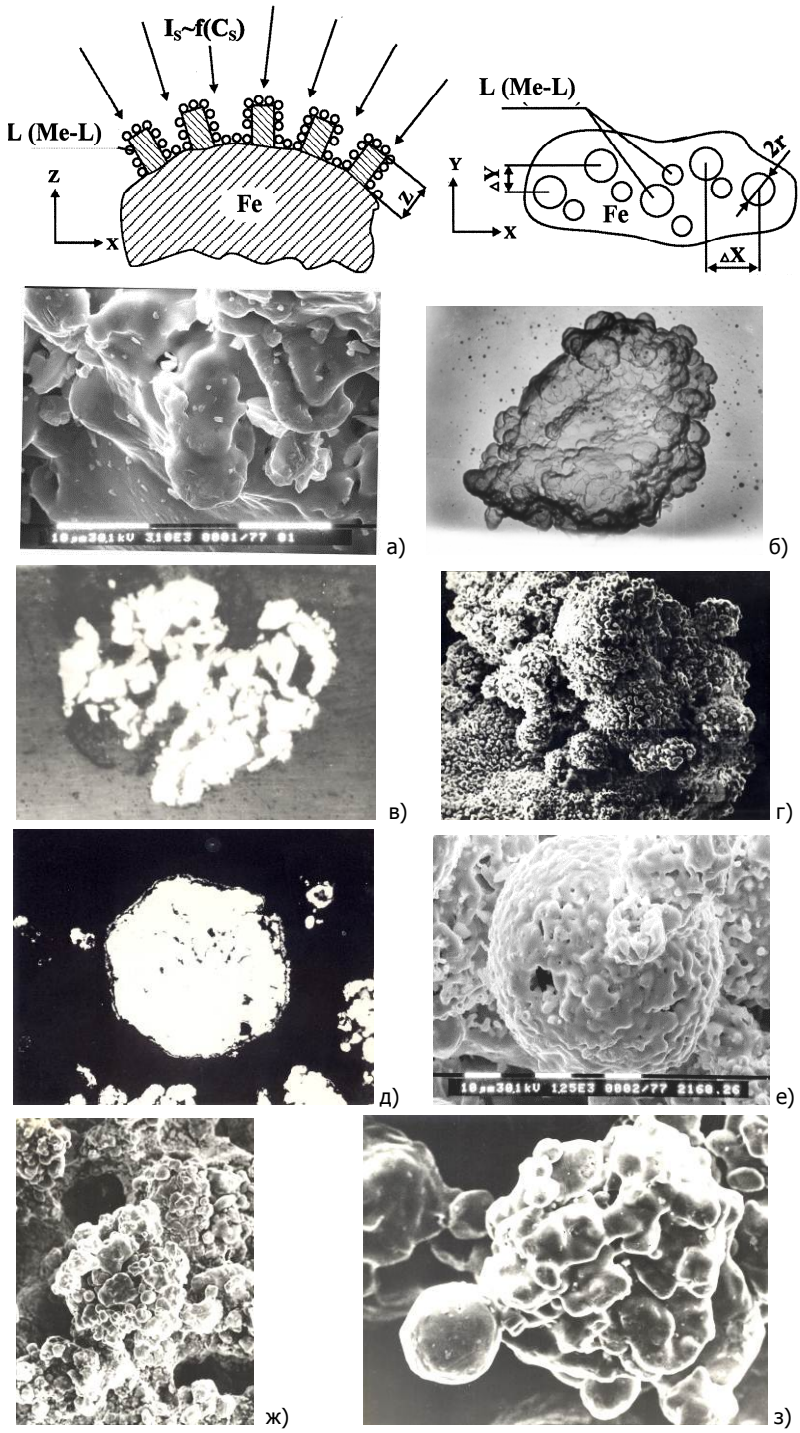
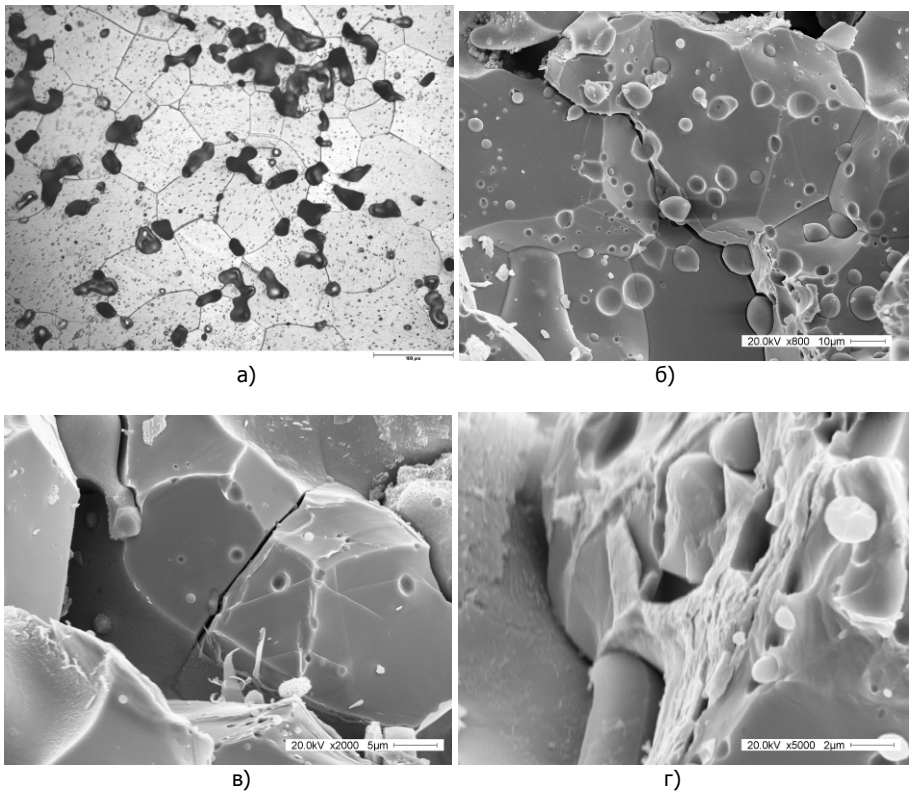


Рис.2. Модель формирования морфологии поверхности при термосинтезе и примеры порошков-микрокомпозитов: а и б – восстановленное железо (а – поверхность, б – сечение, х500); в и г – железо-медь (в – поверхность, г – сечение, х400), д и е – морфология поверхности (микроструктура) легированного фосфором железного порошка из «Липецких» оксидов после терморафинирования и термоплакирования, х500;х100; ж – микрокомпозиты- гранулят карбонильного Fe-порошка после терморафинирования по O_2 и С (поверхность, х800, х2000)

- химико-термическая обработка готовых высоколегированных порошков сталей и сплавов: нержавеющей и быстрорежущей стали, наплавочных твердых сплавов с гомогенным введением технологических присадок (компонентов) – бора, фосфора, – обеспечивающих в дальнейшем жидкофазное спекание;

- поверхностная металлизация (создание подслоя меди, железа, алюминия) на порошках керамики и минералов (например, Al_2O_3;SiO_2, алмазы) с целью облегчения формования и спекания заготовок (рис.3);



а) б) в) г)

Рис.3. Формирование микроструктуры спеченного материала из Fe/P и- Fe/P+Sn-микрокомпозитов: а – сечение, х500, б, в, г -фрактограммы разрушения, х 800;2000;5000

- низкотемпературная (100-300°С) термообработка порошков, не допускающих повреждения формы частиц (карбонильное железо) или поверхностного органического покрытия;

- переработка стружковых или шламовых отходов мехобработки сталей и сплавов (ШХ15, бронза) в режиме смягчающего отжига или самораспространяющегося горения;

- вакуумная металлизация (ионно-плазменная) порошков металлов и керамики с осаждением нитридов и карбидов (TiN, TiC) на поверхность частиц;

- поверхностное осаждение металлоидов (P,S,B) с целью обеспечения особых функциональных свойств микрокомпозитов, как, например для электротехнических (магнитно-мягких), антифрикционных изделий;

- дополнительное осаждение на готовый микрокомпозит субкомпонента (SK) с получением полиструктурного порошка-микрокомпозита вида Me/L+SK, а именно: Fe/P+Sn; Fe/P +Cu; Fe/Cu +P; Fe/P +Zn/ZnO и др.

- подогрев композиций в защитной среде с одновременной гомогенизацией и их подача при тёплом (композиции типа Fe/P+Sn с органической связкой) и горячем прессовании.

Проработка технологических режимов и выявленные приемы указывают на возможность проведения этих операций по отдельности или в комплексе, с совмещением в одном процессе и агрегате (последовательно-параллельный цикл) например, смешивание, металлизацию и поверхностную обработку, с выдачей готовой шихты непосредственно в зону формирования порошковых изделий.

Практика термосинтеза порошков-микрокомпозитов и производства из них материалов и изделий [21-25]. На основе разработанных общих принципов получения и термообработки чистых (однокомпонентных) и композиционных порошков были реализованы возможности термосинтеза порошков разнообразного назначения: для изготовления спеченных изделий, газотермического и плазменного напыления, индукционной наплавки и свободного припекания (см.таблицу). Обработке подвергались промышленные и экспериментальные порошки на основе железа, меди и их сплавов, быстрорежущей и нержавеющей сталей, керамики и минералов, твердых сплавов и синтетических алмазов с целью формирования у них благоприятных технологических характеристик, предопределяющих в дальнейшем оптимальные режимы изготовления из них материалов и изделий разнообразного назначения: конструкционных, антифрикционных, электротехнических, фильтровых, магнитных. Примеры полученных порошков приведены в таблице. Каждый вид порошков может быть воспроизведен с соблюдением достигнутого качества и использован для изготовления определенных классов изделий – конструкционных и антифрикционных (см.таблицу, поз.1-6), электротехнических (поз.3,4), металлоабразивных (поз.7-9), при этом для каждого материала может быть целенаправленно сформирована определенная структура, вид и морфология частиц композиционного порошка с гомогенным распределением. Так, например, для железофосфорных композиций, используемых для изготовления магнитно-мягких материалов (МММ) (см.рис.2,д,е; рис.3,4; таблицу, поз.9) свойственна совершенно особая картина формирования структуры. По сечению материала наблюдается коагуляция пор, что определяет повышение прочности, подтверждаемое ямочно-осколочным характером разрушения (см. рис.3), совершенно не характерным для порошковых композитов. Причина этого может быть в чрезвычайно мелкодисперсном легировании основы фосфором (субмикронные и нанометрические включения фосфифов), усиливаемое микролегированием металлом (например, оловом) с реализацией тройной системы элементов Me/L-SK =Fe/P+Sn.

Обобщение накопленных результатов, создание информационно-аналитической системы, перспективные проработки. Накопленное информационное поле по созданию новых композиционных материалов с использованием технологии термосинтеза компонентов в вибрирующем слое в настоящий момент остро нуждается в системном анализе, выработке критериев проектирования, тестирования, диагностики материалов для часто меняющихся ситуаций их технического использования. При этом

вполне возможен и будет оправдан некоторый формализованный подход к решению таких задач в виде создания «справочно-информационной» системы, отвечающей на вопросы о конечных свойствах, так и технологических приемах (возможно по «ноу хау») их обеспечения.

Режимы обработки и свойства композиционных порошков

№ п/п	Порошок, цель обработки	Основные технологические параметры обработки	Приобретенные свойства, форма частиц, морфология	Кинетическое уравнение процесса
1	2	3	4	5
1	ПЖВ 5.160 ($O_2 \approx 1{,}1\%$), довосстановление	t=500-900 °C τ=10-15 мин. Поточная обработка	$O_2 \approx 0{,}3\%$ Уплотняемость до 7,2 кг/дм^3 Губчатый (рис.2,а)	$\left[1-(1-\alpha)^{\frac{1}{3}}\right]^{1,5} = 3{,}87\exp\left(-\frac{10880}{RT}\right)\cdot\tau$
2	Fe-карбонил, (O_2=1,0%;C=1,2%), рафинирование по [C] и [O]	t°=550 °C τ=15-20 мин. Цикловая обработка в H_2 с t росы= -10°C	[C] ≈ 0,3-0,4% [O] ≈ 0,4-0,5% частицы (рис.3) сферические, конгломераты есть текучесть	$\lg[C] = 0{,}08 - 0{,}0012\tau$ $\lg[O] = -0{,}1 - 0{,}001\tau$ (см. рис.2,е,ж)
3	ПЖВ3 фосфатирование (0,3-1,0%; 1,5-3,0%)Р	t=400 °C τ=15+15 мин. Цикловая обработка	Композиционный порошок для магнитно-мягких материалов, губчатый, шершавый (рис.2)	$\tau = \frac{1-(1-\alpha)^{\frac{1}{3}}}{0{,}013}, [\text{мин}]$ (см. рис.2,д,е)
4	ПР6М5 фосфатирование (0,8-1,0%)Р	600°C; 20 мин. Цикловая обработка	Улучшенная спекаемость и уплотняемость	$\tau = \frac{1-(1-\alpha)^{\frac{1}{3}}}{0{,}025}, [\text{мин}]$
5	Cu/CuO+(2,5-3,0)Р фосфатирование, довосстановление	t=500 °C τ=25 мин. Цикловая обработка (×2)	Композиционный порошок, имитирующий фосфористую бронзу	$\tau = \frac{1-(1-\alpha)^{\frac{1}{3}}}{0{,}022}, [\text{мин}]$
7	Сплав ПГ-СР3, фосфатирование (1,0% Р)	600°C; 30 мин. Цикловая обработка	Улучшенная спекаемость, формуемость	$\tau = \frac{1-(1-\alpha)^{\frac{1}{3}}}{0{,}025}, [\text{мин}]$
8	ПЖВ4.160 довосстановление, сульфидирование (0,5% S)	t°=300 °C τ=25-30 мин. Цикловая обработка	Повышенная уплотняемость, антифрикционность, частицы шероховатые с микровключениями серы	$\tau = \frac{1-(1-\alpha)^{\frac{1}{3}}}{0{,}025}, [\text{мин}]$
9	ПЖВ4.160 довосстановление, фосфатирование (1,0-3,0% Р)+ лужение (1,0%Sn)	t=300-500 °C τ=(15-30) мин. (по п.3) +15 мин Цикловая обработка	Повышенная уплотняемость, частицы с микровключениями фосфора и олова для ММП	$\left[1-(1-\alpha)^{\frac{1}{3}}\right]^{1,5} = 0{,}017\tau$

Моделирование поведения многокомпонентных порошковых систем при прессовании, спекании и при различных условиях эксплуатации – важная и необходимая часть дизайна порошковых материалов. Поиск закономерностей формирования функциональных свойств в зависимости от составов и технологических параметров их получения открывает новые воз-

можности в, казалось бы, традиционно известных и изученных областях порошковых материалов, что постоянно подтверждается новыми результатами в этой области [1-8].

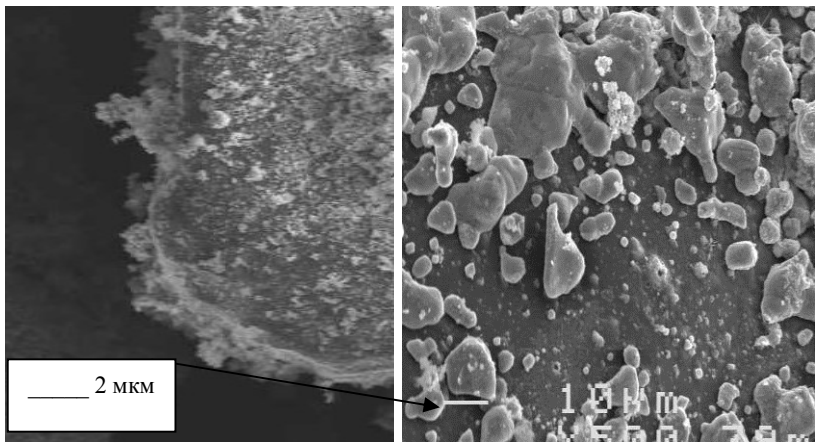


Рис.4. Точечные и пятнистые нанометрические покрытия (200-800 нм) на оксиде алюминия Al_2O_3-Cu/CuO, синтезированные в вибрирующем слое

Диагностика свойств и прогноз поведения сложных композиционных материалов являются основой в проблеме корректного и оптимального их использования для различных машин и механизмов. Это обстоятельство достаточно очевидно, но имеет ограничения в том, что для большинства порошковых материалов нет систематизированных свойств таких материалов буквально по всем их характеристикам: физико-механическим, тепловым, электрическим и др. До недавнего времени это было связано и с определенными техническими трудностями в хранении, накоплении, сборе и обработке больших массивов информационной среды данных, хотя бы по формальным признакам. Развитие компьютерных средств обслуживания переместило решение таких проблем в положительную сторону, однако, нет все еще объединенного формата хранения данных для действующей математической обработки, осуществляемой, например, по методологии планированного эксперимента. В частности, для материаловедческих задач интерес представляет корректное описание зависимостей разнообразных свойств поликомпонентных материалов на пространственных (октаэдр), плоских (треугольник как частный случай сечения) или диаграммах-симплексах «состав-свойство». Для этого может быть эффективно использован инструментарий симплекс-решетчатых планов эксперимента, применяемый в фармацевтике [25].

Развитие такой системы и алгоритма ее функционирования является актуальной для технологии порошковых материалов, открывающей возможности реализации, в частности на симплекс – решетчатых планах активных (действительных, физических) и пассивных (виртуальных)) экспериментов [27-32] и возможности их математико-статистической обработки и создание рабочих моделей проектирования оригинальных материалов. Таким образом решается научно-пратическая задача проектирования материала и подбора технологических параметров его изготовления. При этом дается алгоритм решения и создается адекватная математическая модель

дизайна и тестирования в некотором факторном пространстве нового оригинального материала с требуемыми функциональными характеристиками, а именно, за несколько «элементарных» шагов может быть упрощена процедура подбора компонентов и дано математическое описание сложных взаимодействий факторного пространства, в котором идет анализ свойств. Частным выходом может являться поиск оптимума разного вида: технологического, функционального, экономического. Так, например, трехкомпонентная система порошковых ингредиентов для изготовления конструкционных материалов может быть спроектирована и реализована некоторым оптимальным образом по формализованному алгоритму, в котором за несколько «элементарных» шагов не только упрощается процедура отбора, но и появляется возможность математического описания сложного факторного пространства, в котором идет анализ свойств и поиск оптимума.

Ниже приведен алгоритм, который предполагает следующее:

- проведение конструкторской проработки будущего изделия (2D/3D дизайн). В качестве примера представлен «щит электродвигателя» (рис.5), удачная пропрессовка которого (имеет семь плоскостей формования, большая разноплотность по дну и стенкам – высшая категория сложности) по технологии однократного «прессования-спекания» из железного или железо-фосфорного порошка стала основой его массового производства (было изготовлено изделие «крышка» по программе «Малотоннажная технология» более 250 тыс. шт. [26]);

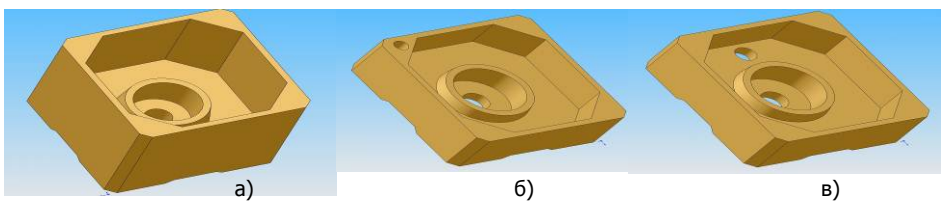


Рис.5. 3D-дизайн порошковых изделий по форме и наличию несовершенств (отверстий, макродефектов): а – увеличенная до 15 мм (~ 60%)по сравнению с исходной (9 мм) высота стенок; б – отверстие, параллельное оси в области углового утолщения; в – в дне

- масштабирование выбранных компонентов шихты в соответствующем функциональном поле, назначение граничных условий по концентрации смешиваемых (подмешиваемых) компонентов, выбор выходной характеристики (отклик в данном случае – это уплотняемость) и степень сложности математического описания (по регрессионному уравнению) (см.рис.4);

- использование полученного уравнения и графической диаграммы «состав-свойства» для прогнозирования свойств и тестирования многокомпонентной системы в любой точке всего факторного поля (симплекса) с последующей оптимизацией зависимостей на основе реальных и виртуальных (мысленных экспериментов) данных.

Так, в качестве примера представлено изменение прессуемости композиции на основе железного порошка (рис.6, построение осуществлено по экспериментальным узловым точкам, их 15, а линии равного выхода – по виртуальным точкам; их проанализировано более 100 тыс., построенные по уравнению регрессии, адекватно (уровень значимости 5%), описы-

вающее исследованную область изменения концентраций компонентов конструкционного материала:

$$y_{сп}= 6.38x_1+7.2x_2+7.12x_3+0.66x_1x_2+0.64x_1x_3-0.02x_2x_3+0.08x_1x_2(x_1-x_2)-0.53x_1x_3(x_1-x_3)+38.106x_2x_3(x_2-x_3)-0.4x_1x_2(x_1-x_2)^2-0.64(x_1-x_3)^2-76.29x_2x_3(x_2-x_3)^2-35.65x_1^2x_2x_3-115.36x_1x_2^2x_3+188.079x_1x_2x_3^2 ,$$

где $y_{сп}$ – отклик, в данном случае плотность материала после спекания; $X_1X_2X_3$ – влияющие факторы (доля соответствующего компонента X_1-Fe или технологического фактора: X_2=Ts – температура спекания 1120-1150-1200-1250-1300°C; X_3=Ppr – давление прессования 250-400-500-600-700 МПа в системе композиционирования и консолидации (см.рис.6)).

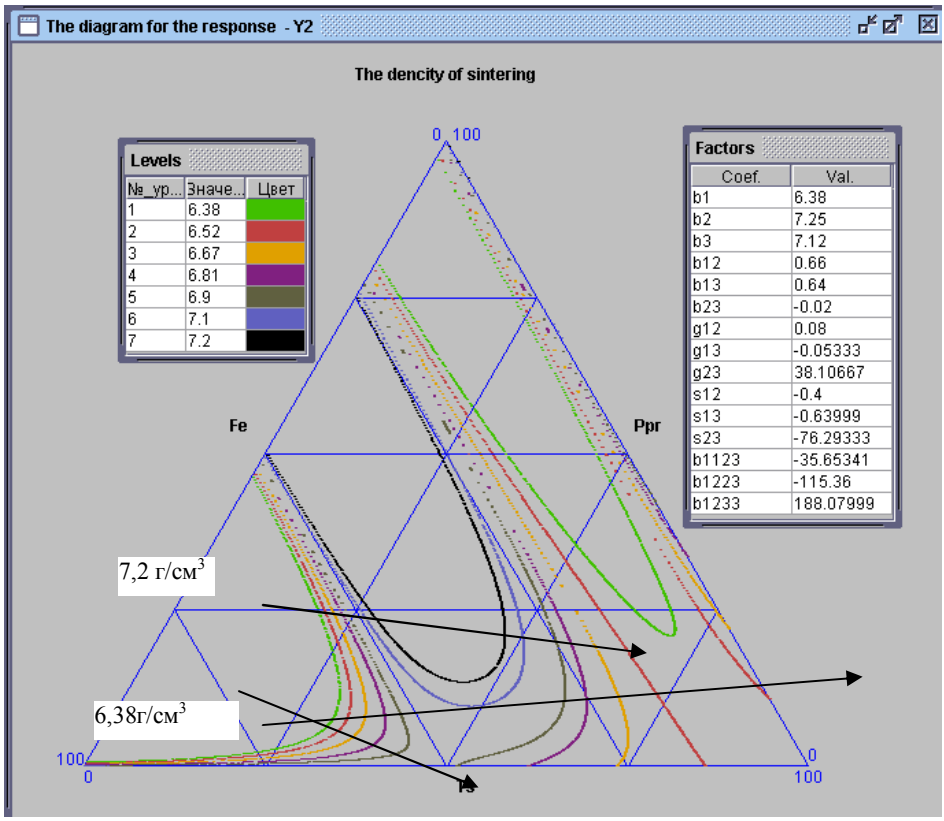


Рис.6. Изменение плотности (изолинии, например 7,2 г/см3) спеченного материала на основе железных порошков ASC 100.29 + 0,5 % HWC и ПЖВ2.160.24 (указаны изолинии достигнутой плотности: максимальная 7,2 г/см^3, минимальная 6,38г/см^3)

Таким образом может быть оценено множество разнообразных характеристик материалов. Они могут быть классифицированы и систематизированы в некую общую систему (например, «Порошковые материалы») или частную подсистему (например, «Конструкционные материалы», «Материалы на основе железа» и т.д.), а по мере их сопоставления (например, наложением разных «картинок» друг на друга) и накопления подобных симплексных диаграмм формируется и совершенствуется библиотека (банк данных) разнообразных характеристик порошковых материалов с гаранти-

рованным уровнем технологических и служебных характеристик – прессуемости, спекаемости, прочности, коэффициента трения, износостойкоости и др. [29-32], – обеспечиваемых требуемым составом и технологией (в том числе приемлемой ценой), которые являются основой для дальнейшего эффективного их использования.

Первичная система подбора могокомпонентных составов апробирована на ряде материалов и является открытой для её совершенствования (см. http//:InfoTKM-PM.exponenta.ru; www.de.dstu.edu.ru) и перспективной (несколько отдаленной) для её выстраивания в глобальную информационно-аналитическую систему (например, «Композиционные порошковые материалы для машиностроения» (как электронный прообраз [6]).

Выводы. Созданы научные основы, получены и апробированы оригинальные прикладные технологические решения по подготовки композиционных порошков к переработке в функциональные материалы и изделия. Совершенствуется и развивается новое направление в порошковой металлургии – получение порошков с наперед заданными свойствами, – заключающееся в придании частице порошка характеристик системы необходимых компонентов в условиях гетерогенного термосинтеза микрокомпозитов в вибрирующем слое. По мере накопления информационного ресурса создается и совершенствуется информационно-аналитическая система мониторинга, проектирования и тестирования порошковых материалов с возможностью формализованного (справочного) выбора требующегося материала, технологии его получения и необходимых свойств. Получены разнообразные виды композиционных порошков, в том числе с фиксацией ультратонких – субмикронных и нанометрических составляющих, обеспечивающих технологические преимущества (уменьшение давления прессования, снижение температуры спекания) при их переработке в качественные конкурентоспособные конструкционные, антифрикционные, магнитные, фильтровые изделия для машиностроения, металлообработки и электротехники.

Библиографический список

1. А.с.603823 СССР. Печь для получения металлических порошков /Л.В.Красниченко, В.Г.Люлько. – Опубл. в БИ, 1978. – № 15.

2. А.с. 784986 СССР. Способ обработки порошка / Л.В.Красниченко, В.Г. Люлько и др. – Опубл. в БИ, 1980. – №4.

3. *Люлько В.Г.* Довосстановительный отжиг железного порошка в вибрирующем слое / В.Г.Люлько, Л.В.Красниченко, В.И.Литвиненко, В.Д.Кишко // Порошковая металлургия. – 1979. – № 7. – С.1-5.

4. Способ получения металлизированной шихты: пат. 2122924. Российская Федерация /А.И.Афанасьев, В.Г.Люлько, В.Ф.Некрасов и др. – Опубл. в БИ, 1998. – № 41.

5. *Анциферов В.Н., Малиновская Н.П.* Развитие работ в области создания новых классов функциональных порошковых материалов: сб.тр. науч.-техн.конф. при междунар.выставке «МетМаш-2005». – Ростов-н/Д, 2005. – 5 с.

6. Металлические порошки и порошковые материалы / Б.Н. Бабич, Е.В.Вершинина, В. Г.Люлько и др.; под ред. Ю.В.Левинский. – М.: Экомет, 2005. – 520с.

7. *Дорожкин Н.Н.* Получение порошковых изделий и покрытий из материалов на железной основе / Н.Н.Дорожкин, Г.Г.Горанский, В.Г.Люлько и др. / БелНИИНТИ и ТЭИ Госплана БССР. – Минск, 1990. – 89 с.

8. Leading the bonding revolution. Hoeganes Crporation. MPR, Oct.2003.18 P.

9. Hoeganes AB. Sweden. HIPIN-99. CD-Rom. 1999.

10. Diamond Tool Binder. Ecka Granules.Metal-Powder-Technologies. DS/01.02. - 4P.

11. Metal Injection Moulding. Process-Properties et Testing –Technical Guidelines –MIM Desing –Case Studies –Standards. EPMA.www.epma.com. 2004. - 34P.

12. Талако Т.Л. О возможности использования метода СВС для получения нанокристаллических порошков / Т.Л.Талако, П.А.Витязь, А.В.Беляев и др. // Порошковая металлургия: респуб. межвед. сб.науч.тр. – Минск. Вып.27. НАНБ. – 2004. – С.78-83.

13. Мир нанотехнологий. Декабрь 2004.CD. Nanotechnology News Network. www.nanonewsnet.ru, www.nanonewsnet.com, www.nanobot.ru, www.mno.ru

14. *Левинский Ю.В.* Внутреннеокисленные и внутреннеазотированные наноматериалы / Ю.В.Левинский. – М.: Экомет, 2007. – 400 с.

15. Danninger H. et al. Nanostructural effects in Powder Sintered Mo-Steel. //PM-2004.World Congress. Vienna, Session 26-32-38. 2004

16. Oleinikov D.V.,Lyulko V.G. et.al. The laboratory installation for making of metallized diamond powders in the vibrating fluidized bed // Proceed. PM-Euro-99, – Turin, 1999, pp.117-119.

17. Hlebunov S.A., Lyulko V.G., et.al Composite Materials on the Basis Powders Fe – S, Making in the Vibrating Layer // World Congress PM-98, Spain, Granada. Proceed. Vol.1.1998. – P. 257-261.

18. Членов В.А., Михайлов Н.В. Виброкипящий слой. – М.: Наука, 1972. – 344 с.

19. Lyulko V.G.,.Shalunov E.P. et al.3D /2D- Modelle fuer Gefuege-und Eigenschafteninterpretation von Al2O3-TiO2-Ti(C,N)–dispersionverfestigner Kupferverbundwerkstoffen // Proc.15-th Int.Plansee-Seminar, Vol.1, Reute, 2001. – P. 351-358.

20. Lyulko V.G., Vasilyew V.M., Martirosjan R.A. et al. Mathematical Model for Diffusion Calculation During Building-up of Composite Powders by Heat Treatment of the Vibrating Layer // Euro-PM-95. – Birmingham, 1995. – P.156-159.

21. Lyulko V.G., Shugai K.K.et.al Possibilitees of the Vibrating Layer Technology for Metal and Ceramic Powders Sintering Preparation // Proceed. of «Sintering-95». Haikou, China, 1995, pp. 154-157.

22. Lyulko V., Vasilyev V., Malaya E. Microstructure and Properties of the Iron-Phosphorus Structural Powder Materials // Advances in Structural PM Component: Proc. of the European Conf., Germany, Oct.15-17. -Munich, 1997.

23. *Маслюк В.А.* Слоистые магнитно-мягкие материалы на основе композиционных порошков железа / В.А.Маслюк, О.А.Панасюк, В.Г.Люлько, В.Я.Куровский, С.А. Малофеева // Вестник ПГУ. – Вып.9, 2003. – С.48-53.

24. Panasyuk O., Maslyuk V., Danninger H., Lyulko V. Origination and Investigation of Properties of Powder Magnetic-Soft Materials, Based on the Iron

Powders, Clad with Metal and Non-Metal Components //Powder Metallurgy-2004.World Congress. – Vienna, Proc. Vol.3, 2004. – P.110-115.

25. *Зедгинидзе И.Г.* Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г.Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.

26. Шугай К.К., Люлько В.Г. Практика производства порошковых деталей с улучшенным комплексом свойств в условиях мелкосерийного и малотоннажного производства // Металлургия-2001: сб.тр.конф.-выставки 19-21 сент., 2001. – Ростов н/Д, 2001. – С.48-51.

27. Lyulko V.G., Jmailov B.B. Oleinikov D.V., Lyulko A.V. et al. Perfection of graphic-analytical method for the complex analysis of powder materials under simplex polycomponental diagrams // Plansee Seminar-2005. Proceed. – Vol.1. – P.1130-1136.

28. Свидетельства № 2005611223, № 2005611224; № 2005611225 об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ / В.Г.Люлько, Б.Б.Жмайлов, А.Г.Краснобаев, А.В.Люлько и др. Проектирование многокомпонентных порошковых материалов по симплекс-диаграммам и оптимизация их свойств. – Опубл. в БИ. – 2005. –№3. – С.109-110.

29. *Люлько А.В.* В.Подготовка аморфных порошков на основе железа к газотермическому напылению / А.В.Люлько, Г.Г.Горанский, Г.Рубанова: сб. тр. науч.-техн.конф. «Метмаш. Станкоинструмент – 2006» при междунар. выставке 6-8 сент. – Ростов н/Д, 2006.

30. *Жмайлов Б.Б.* Диагностика дисперсных систем с помощью обобщенного показателя качества. Контроль. Диагностика / Б.Б.Жмайлов, В.Г.Люлько. – 2006. – № 12. – С.44-48.

31. *Люлько А.В.* Адаптивное проектирование и тестирование многокомпонентных композиционных материалов по симплексным диаграммам «состав-свойства» / А.В.Люлько, Б.Б.Жмайлов, А.В. Бровер //Упрочняющие технологии и покрытия.– 2007. – №9. – С. 111-115.

32. *Люлько А.В.* Реализация принципов проектирования и анализа свойств поликомпонентных композиционных материалов / А.В.Люлько, Б.Б.Жмайлов // Вестник ДГТУ.–2007. – №2. – С.53-59.

Материал поступил в редакцию 20.08.07.

V.G.LYULKO, K.K.SHUGAY, A.V.LYULKO, S.A.MALOFEEVA

DEVELOPMENT OF THERMOSYNTHESIS TECHNOLOGY IN VIBRATING LAYER OF POWDER MICROCOMPOSITES

Aspects of application of thermosynthesis technology in vibrating layer for composite powders with structural components mesa-, ultra- and nanodimensions for new niveua powders functional materials are discussed. It is submitted installation for thermosynthesis, the nomenclature of composite powders and examples nanostructures components on matrix powders of iron (Fe/P+Sn; Fe/P +Cu; Fe/Cu +P; Fe/P +Zn/ZnO) and ceramics (Al2O3-Cu/CuO).

ЛЮЛЬКО Валерий Григорьевич (р.1951), профессор кафедры «Технология конструкционных материалов ДГТУ, доктор технических наук (1996), Академик международной академии проблем качества (1999). Окончил РИСХМ (1973) по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты».
Научные интересы – порошковая металлургия и композиционные материалы.
Автор более 300 научных и методических работ, 12 авторских свидетельств и патентов.

ШУГАЙ Константин Константинович (р.1961), старший научный сотрудник, начальник отдела износостойких покрытий и порошковой металлургии Управления научных исследований ДГТУ, кандидат технических наук (1988).
Научные интересы: материаловедение, порошковая металлургия и композиционные материалы, дизайн порошковых материалов, изделий и конструкций.
Автор более 100 научных работ, авторских свидетельств и патентов на изобретения.

ЛЮЛЬКО Артем Валерьевич (р.1977), старший научный сотрудник ДГТУ, руководитель лаборатории (2003) «Порошковая металлургия». Окончил ДГТУ (1999). Действительный член Европейской ассоциации порошковой металлургии (ЕПМА), участник международного (Австрия-Россия-Украина) проекта Евросоюза по порошковым материалам (2004-2007 гг.).
Научные интересы: общая технология порошковой металлургии, моделирование процессов формирования свойств композиционных материалов, в том числе инструментальных покрытий, информационные технологии в технике.
Автор более 30 печатных работ.

МАЛОФЕЕВА Светлана Анатольевна, ст.преподаватель Сулинского металлургического колледжа (г.Красный Сулин, Ростовской обл.), кандидат технических наук (2004, ЮРГТУ).
Научные интересы: прикладная технология порошковой металлургии и композиционных материалов, моделирование процессов создания новых материалов, информационные технологии в технике.
Автор более 40 печатных работ, лауреат областных конкурсов учебно-методических работ в области преподавания металлургических и машиностроительных специальностей.

УДК 621.927

Ю.М. ВЕРНИГОРОВ, Д.М. ПЛОТНИКОВ

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАГНИТОВИБРАЦИОННОГО СЕПАРАТОРА

Представлен магнитовибрационный сепаратор, с помощью которого можно производить сепарацию шламов шлифовального производства и получать продукты переработки высокого качества. Приведены конструктивные особенности и параметры установки.
Ключевые слова: *магнитовибрирующий слой, магнитовибрационная сепарация, пермеаметр, шлам.*

Введение. В современном производстве по-прежнему остаются нерешёнными задачи, связанные с утилизацией отходов жизнедеятельности человека. В нашей стране работает около двух десятков подшипниковых заводов и ряд других предприятий, на которых применяют процессы шлифования. На одном только ГПЗ-10 в год скапливается несколько сотен тонн шлифовального шлама. А между тем утилизация шлифовального шлама может превратиться для предприятия в статью дохода.

Целью работы является описание конструктивных особенностей опытной магнитовибрационной установки, предназначенной для сепарации шлама подшипникового производства.

Эксперимент. Технологический процесс (рис.1) переработки шлифовального шлама многостадийный и начинается с отделения 2 смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Отмывка СОЖ производится в 70%-ных щелочных растворах каустической соды (NaOH) либо едкого калия (KOH) в подогреваемом до 100-150ºС резервуаре 1. Резервуар располагается в межполюсном пространстве электромагнитов 10 и 11, что позволяет обеспечить бесконтактное перемешивание шлама в щелочном растворе. В итоге на поверхности образуется густой слой СОЖ, который сливается в отстойник для последующей её регенерации и производится промывка осадка шлифовального шлама. Содержание СОЖ в шламе составляет примерно 20-25% от массы шлама, загружаемого в резервуар (m=300 г). Получившийся осадок обезжиренного шлифовального шлама быстро просушивается 3 при температуре 200-250°С. Необходимость быстрой сушки очевидна, так как при длительном нахождении шлама во влажном состоянии происходит интенсивное окисление. Сушка ведется внутри керамической (алундовой) трубки с намотанной на нее спиралью. После отделения СОЖ и последующей сушки шлам принимает вид серовато-тёмной массы с вкраплениями красных комков. Во время промывания обезжиренного шлифовального шлама происходит частичное отделение абразива, который смывается в сборник. Как правило, отделившийся в процессе отмывки абразив составляет 2-4 % от общей массы абразива в шламе.

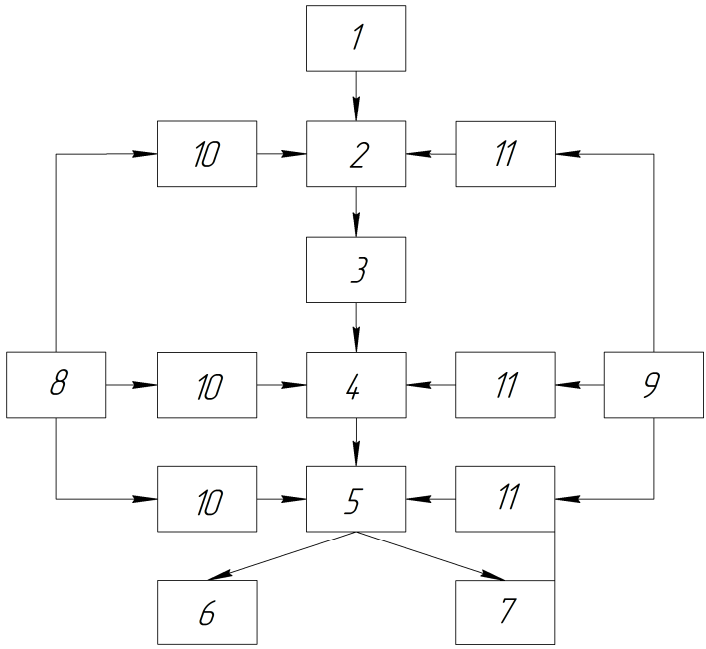


Рис.1. Блок-схема технологического процесса сепарации: 1 – нагревательный элемент; 2 – резервуар для очистки СОЖ; 3 – алундовая трубка; 4 – бильная мельница; 5 – профиль из немагнитного материала; 6 – накопитель абразива; 7 – накопитель металлического порошка; 8 – блок питания постоянного тока; 9 – блок питания переменного тока; 10 – постоянный электромагнит; 11 – пермеаметр

В дальнейшем для повышения качества сепарации производится измельчение трудноразрушимых коагуляций шлифовального шлама в бильной мельнице 4. В процессе измельчения шлам просеивается через сито (размер ячейки 0,63 мм). Операция проводится в магнитовибрирующем слое (МВС), создаваемом электромагнитами 10 и 11, так как в обычных условиях шлифовальный шлам не поддается просеву из-за спиралевидной формы частиц металла и большим межчастичным взаимодействием.

Заключительным этапом является процесс разделения магнитной и немагнитной фракций шлама 5 в магнитовибрирующем слое [1], образованном в общем межполюсном пространстве двух электромагнитов, создающих постоянное и переменное магнитное поле. Эффективность разделения определяется степенью разрушения агрегатов мелкодисперсной металлической фракции [2], в объёме которых содержится абразивная крошка. Конструктивные особенности установки, реализующей разделение металлических и абразивных порошков, приведены на рис.2. В межполюсное пространство постоянного 1 и переменного 2 электромагнитов с разомкнутыми магнитопроводами помещен профиль цилиндрического сечения из немагнитного материала 5. Создаваемый за счет формы сердечника пермеаметра по всей длине магнитопровода градиент индукции магнитного поля позволяет образовать устойчивый МВС в любой точке межполюсной зоны.

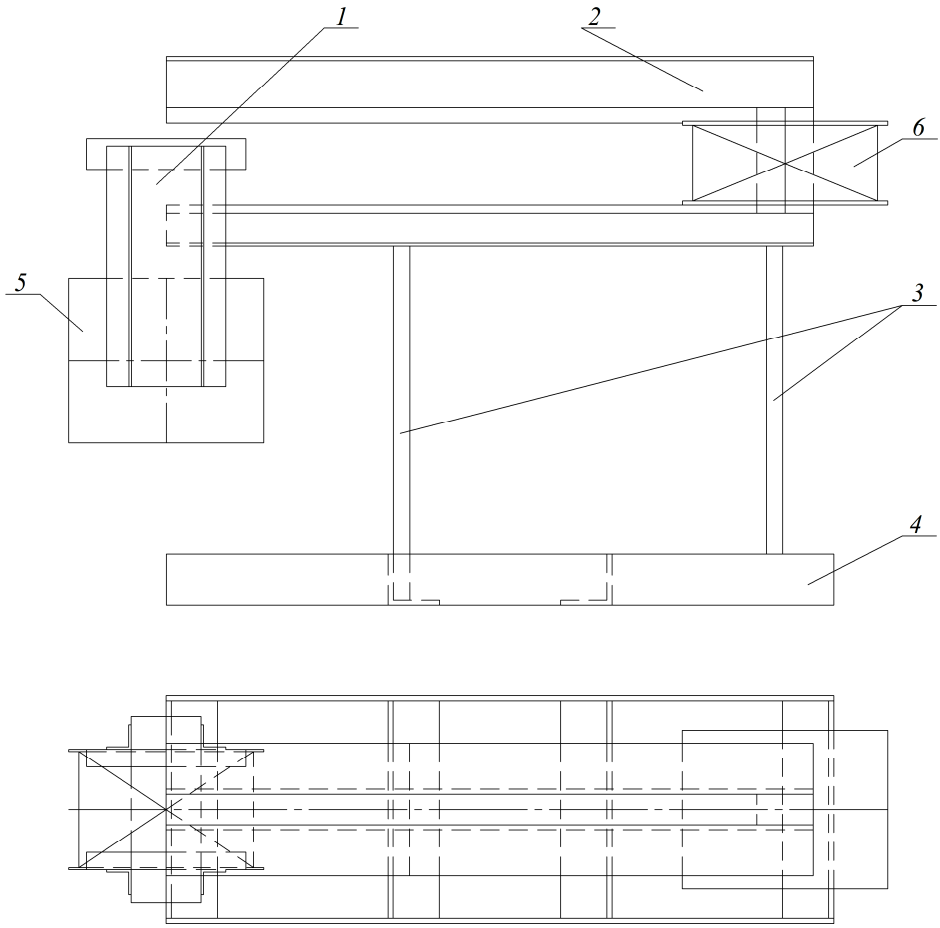


Рис.2. Принципиальная схема магнитовибрационной установки: 1 – магнитопровод постоянного магнита; 2 – магнитопровод переменного магнита; 3 – немагнитные стойки; 4 – станина; 5 – катушка постоянного магнита; 6 – катушка переменного магнита

Регулировка магнитных полей производится следующим образом: ток, подаваемый на постоянный электромагнит от выпрямителя ВУ-110/24 регулируется реостатом, переменный ток, который подаётся на пермеаметр, регулируется с помощью РНО-250-5. Значения напряжений и силы токов измеряются амперметрами и вольтметрами (переменный ток – амперметром марки Э8021Т2 0 – 10А; вольтметром – Э8021 0 – 250В; постоянный – амперметром – М4200 0 – 2А; вольтметром – М381 0 – 50В). Магнитовибрационная установка рассчитана на работу в диапазоне 0-40В по постоянному и 0-250В по переменному напряжению. При этих значениях электромагниты создают индукцию магнитного поля между полюсами в пределах: постоянный магнит в зазоре 83мм 30-35 мТл, пермеаметр в зазоре 95мм 31,4-54,2мТл и градиент индукции 0,648 Тл/м.

На рис.4 приведены зависимости индукции магнитного поля постоянного магнита от приложенного напряжения, измеренные в точках межполюсного пространства с помощью датчика Холла, положение которого задавалось трафаретом (рис.3). Установлено, что индукция постоянного

поля максимальна в 20 мм от центра в верхней части межполюсного пространства и составляет 30-35 мТл, и уменьшается к периферийным областям в 40 мм от центра в нижней и верхней части до 16-21 мТл.

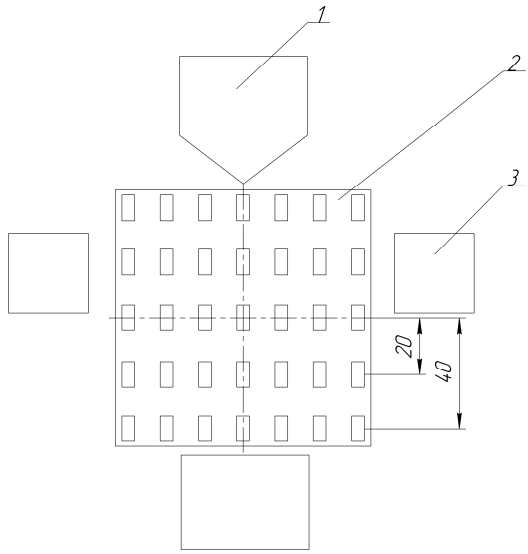


Рис.3. Измерительный трафарет для фиксации датчика Холла в межполюсном пространстве электромагнитов: 1 – магнитопровод пермеаметра; 2 – трафарет; 3 – магнитопровод постоянного электромагнита

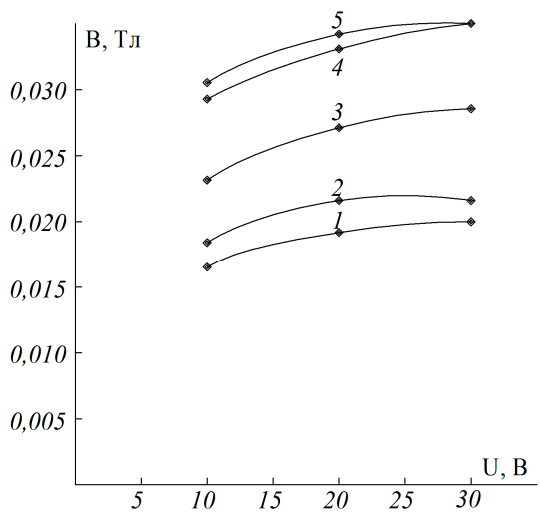


Рис.4. Зависимость индукции магнитного поля постоянного электромагнита от напряжения на катушке; координаты точек замера относительно осевой линии в рабочем пространстве постоянного магнита: 1 – 40 мм от центра в верхней части; 2 – 40 мм от центра в нижней части; 3 – 20 мм от центра в нижней части; 4 – центр; 5 – 20мм от центра в верхней части

Рис.5 подтверждает, что индукция поля пермеаметра вдоль всего магнитопровода практически одинакова: рис.5,а – соответствует полю у заостренного магнитопровода пермеаметра; рис.5,б – индукция поля по средней линии между магнитопроводами и рис.5,в – индукция поля около плоского магнитопровода.

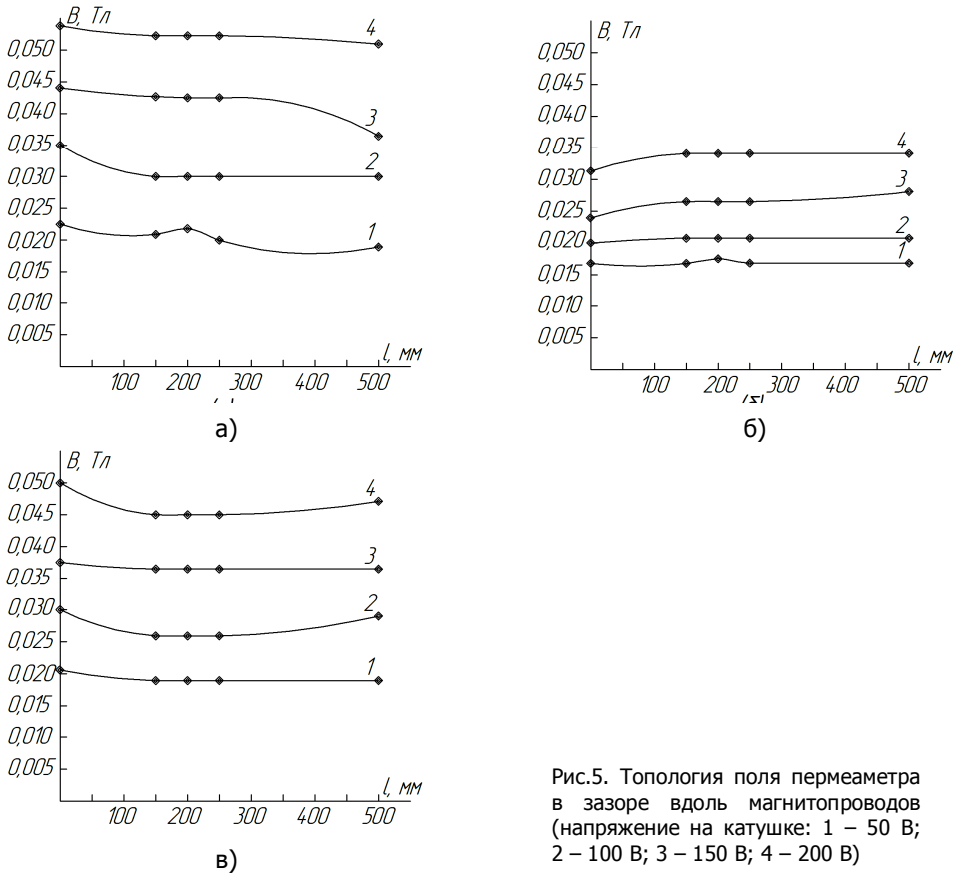


Рис.5. Топология поля пермеаметра в зазоре вдоль магнитопроводов (напряжение на катушке: 1 – 50 В; 2 – 100 В; 3 – 150 В; 4 – 200 В)

Шлам подается дозированно в профиль из немагнитного материала 5 (см.рис.1), расположенный между магнитопроводами электромагнитов. Отделившийся абразив осыпается на дно профиля и по специальному конвейеру попадает в контейнер 6. Минимальное время сепарации соответствует следующим параметрам: напряжение на катушке постоянного магнита – 40В, напряжение, подаваемое на катушку пермеаметра, 250В.

Для оценки эффективности сепарации методом нерастворимого остатка определяли содержание абразива в шламе и рассчитывали относительную массу выделяемого абразива за заданный интервал времени. Зависимость содержания отделившегося абразива от времени представлена на рис.6. Как видно из графика, при данном режиме уже через 3 минуты наблюдается полное разделение металлического порошка и абразива.

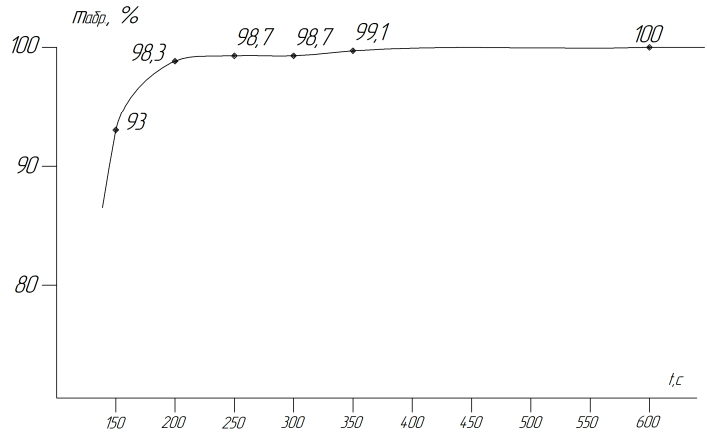


Рис.6. Зависимость содержания абразива
в образце от времени сепарации

Выводы. В итоге технологический процесс магнитовибрационной сепарации шлама шлифовального производства подшипников можно представить как последовательность следующих этапов. Первый этап предполагает удаление из шлама СОЖ, на что затраты времени составляют 10-20 минут, второй – промывка в течение 5 минут очищенного от СОЖ шлама и его сушка, третий – измельчение в бильной мельнице и просев в течение 2 минут, четвёртый – сепарация в магнитовибрирующем слое в течение 2-3 минут. Таким образом, на процесс сепарации с учётом этапов подготовки шлама затраты времени составляют от 20 до 30 минут.

Библиографический список

1. *Вернигоров Ю.М.* Использование магнитовибрирующего слоя в технологиях порошковой металлургии / Ю.М. Вернигоров, Ю.А. Гордин // Вопросы вибрационной технологии: межвуз. сб. науч. ст. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1999. – С. 70-75.

2. *Вернигоров Ю.М.* Измельчение ферромагнитных материалов в магнитовибрирующем слое / Ю.М. Вернигоров, С.И. Егорова, И.Н. Егоров // Современные проблемы машиноведения и высоких технологий: тр. международ. науч.-техн. конф., посвященной 75-летию Донского государственного технического университета. – Ростов н/Д, 2005. – Т.11. – С. 23-27.

Материал поступил в редакцию 08.10.2007.

YU. M. VERNIGOROV, D. M. PLOTNIKOV

CONSTRUCTIVE FEATURES OF MAGNETOVIBRATING SEPARATOR

Magnetovibrating separator with abilities to distribute grinding production slime and to obtain high quality conversion products is proposed. Constructive features and parameters of the device are presented.

ВЕРНИГОРОВ Юрий Михайлович (р. 1941), доктор технических наук (1995), профессор кафедры физики ДГТУ. Окончил РГУ (1964) по специальности «Радиофизика».
Научные интересы: порошковая металлургия, взаимодействие дисперсных магнитных систем в электромагнитном поле.
Имеет более 100 научных публикаций.

ПЛОТНИКОВ Дмитрий Михайлович (р. 1984), аспирант кафедры физики ДГТУ. Окончил ДГТУ (2005) по специальности «Технология художественной обработки материалов»
Имеет 3 научные публикации в области магнитовибрационной технологии.

УДК 621.762:666.64:66.067.124

П.А. ВИТЯЗЬ, О.А. ПРОХОРОВ, В.М. ШЕЛЕХИНА, Л.П. ПИЛИНЕВИЧ

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МЕМБРАННЫХ ФИЛЬТРОВ С ГРАДИЕНТНОЙ МИКРО- И НАНОПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Представлены результаты исследований процессов получения керамических мембранных фильтров с градиентной микронанопористой структурой. Показаны два этапа технологии – получение микропористых подложек в интервале пористости 30-60 % и размера пор 0,4-100 мкм и нанесение на них сплошных микропористых мембранных слоёв на основе оксидов алюминия и циркония толщиной 20-60 мкм со средними размерами пор ~ 30-300 нм.

Ключевые слова: *фильтры, керамические каркасы, градиентная пористость, мембранный слой.*

Введение. Керамические мембранные фильтры находят все большее применение при тонкой очистке жидких и газовых сред в различных отраслях промышленности, коммунальном хозяйстве. Это обусловлено их высокой коррозионной стойкостью, стабильностью геометрических размеров, способностью работать при повышенных температурах, стойкостью к воздействию бактерий, длительным ресурсом работы и возможностью многократной регенерации. Несмотря на хрупкость и относительно высокую стоимость керамических мембран, они быстро окупаются за счет высоких эксплуатационных показателей и длительного срока службы (до 10 лет и выше вместо 1 года для полимерных мембран) [1].

В общем случае керамический мембранный фильтр состоит из несущей пористой подложки, обеспечивающей механическую прочность, и тонкого мембранного слоя, определяющего тонкость фильтрации. Известно, что производительность мембранного фильтра увеличивается с уменьшением толщины мембранного слоя [2]. Однако сложно получить бездефектную керамическую мембрану малой толщины. Поэтому наибольшее распространение получили методы производства, включающие два этапа: изготовление пористой несущей подложки и формирование на ней мембранного слоя.

Для получения мембранных слоев с различным размером пор используются различные методы. Так, для изготовления несущих микропористых подложек используют традиционные методы порошковой металлургии – прессование, шликерное и центробежное литье, экструзию и твердофазное спекание керамических смесей [3-6]. Для изготовления микро- и нанопористых мембранных слоев применяют золь-гель-технологию, напыление, жидко- и газофазное осаждение или нанесение керамических суспензий на пористую подложку.

При изготовлении многослойного фильтра в качестве подложки для мембранного слоя с более тонкими порами используют фильтр с более крупными порами в мембранном слое. Так, для получения микрофильтра в качестве подложки может применяться обычный фильтр с порами в десятки микрометров. Такой мембранный фильтр может использоваться в качестве подложки при получении фильтра для ультрафильтрации и т.д. Таким

образом, в материале формируется градиентная поровая структура, характеризующаяся лучшими показателями фильтрации.

Экспериментальные данные и обсуждение результатов исследований. *Микропористые подложки.* В качестве основного компонента использовали порошки оксида алюминия узкой фракции: ГН, М20, М200. Для снижения температуры спекания и повышения прочности в состав шихты вводили добавки: четырехкомпонентное стекло состава $CaO – B_2O_3 – SiO_2 – BaO$, а также соединение $MnTiO_4$. Для повышения пористости подложек в состав шихты вводили 20-40 вес.% порообразователя (NH_2CONH_2), полностью разлагающегося в процессе термообработки.

Плоские микропористые подложки готовили одноосным прессованием керамической шихты, трубчатые – гидростатическим прессованием. Давление прессования составляло 50-100 МПа.

Спрессованные образцы предварительно отжигали на воздухе для удаления порообразователя при температуре 800°С в течение одного часа, затем спекали на воздухе при температурах 1250-1400°С.

Варьируя температурой спекания, размером частиц Al_2O_3 и количеством порообразователя, можно управлять средним размером пор микропористых подложек с сохранением требуемого уровня пористости и прочностных свойств. Подробно процесс изготовления микропористых подложек рассмотрен в работе [7].

Существенное влияние на характеристики мембранного слоя оказывает качество поверхности подложки. Так, присутствие раковин, крупных неровностей может приводить к образованию дефектов в мембранном слое, его растрескиванию при термообработке. Кроме того, химическая неоднородность поверхности подложки (наличие загрязнений) также приводит к отслаиванию мембранного слоя. Поэтому перед дальнейшим использованием подложки кипятили в дистиллированной воде в течение получаса и сушили при температуре 150 °С в течение одного часа. Такая обработка подложек позволила за счет удаления загрязнений повысить водопроницаемость подложек на 4-5%.

Рис.1. Плоские и трубчатые микропористые подложки

Таким образом, были получены образцы плоских и трубчатых керамических микропористых подложек в интервале пористости 30-60 % и размера пор 0,4-100 мкм (рис.1).

Мембранный слой на основе порошков. Среди методов формования мембран из порошков шликерное литье дает возможность получить пористую керамику с равномерной плотностью и однородным распределением пор по объему, высокой чистотой поверхности, точными размерами и т.д. В связи с этим микрофильтрационные керамические мембраны преимущественно изготавливают с применением методов шликерного литья [1].

Для изготовления мембранных слоев были выбраны микрокристаллические полидисперсные порошки оксида алюминия марки ХЧ и диоксид

циркония марки Ч. Порошки получали размолом в аттриторе. Средний размер частиц порошков суспензии составил 200-400 нм.

Большое влияние на свойства суспензий, их агрегативную устойчивость оказывает водородный показатель среды. Для суспензий на основе различных порошков область устойчивости лежит при разных значениях pH. Для получения высококачественных суспензий на основе порошков оксида алюминия целесообразно осуществлять шликерное литье как в кислых (pH 2,0-3,5), так и щелочных (pH 8-8,5) средах. Литье суспензий на основе диоксида циркония также можно проводить в кислых (pH 1,1-1,9) и щелочных (pH 7-9) средах.

Для водных суспензий оксидов алюминия и циркония характерно стремление системы к переходу в щелочную область pH, что связано с наличием в оксидах частично растворимых в воде примесей (CaO, MgO и т.д.). Водородный показатель при этом определяется происхождением оксидов и их чистотой. Введением кислот и щелочей, а также применением различных связующих можно довести pH до нужного значения.

Введение связующих, в частности поливинилового спирта (ПВС), приводит к достижению необходимой толщины микрофильтрационного слоя за счет регулируемой вязкости, повышению седиментационной устойчивости частиц оксида металла, обеспечению агрегативной устойчивости суспензии, предотвращению образования микродефектов при термообработке за счет упрочнения, пластифицирующего действия, как при низких, так и при высоких температурах.

Большой проблемой при изготовлении мембранных слоев является устранение газовых пузырьков, которые появляются в процессе приготовления шликера и нанесения мембраны. На месте пузырьков в результате термообработки образуются пустоты в мембранном слое. Для устранения пузырьков необходимо введение пеногасителей. На основании проведенных экспериментов нами выбран пеногаситель «Monolan» (ФРГ). При определенных условиях (дополнительная обработка шликера в вакууме, выдержка шликера в течение 2-3 ч перед нанесением мембранных слоев и т.д.) достигнуто полное устранение дефектов такого рода. Крупные агрегаты частиц, содержащиеся в шликере, являются дефектами, способствующими растрескиванию мембранного слоя при сушке и спекании, образованию крупных пор и раковин. Поэтому необходима тщательная дезагрегация керамических частиц перед нанесением мембранного слоя.

Для разрушения агрегатов частиц в шликере использовали комплексную обработку, включающую введение соляной кислоты для перехода суспензии в область агрегативной устойчивости, длительное смешивание с керамическими шарами, ультразвуковую обработку.

При шликерном литье на микропористые подложки суспензии с низким содержанием связующего – поливинилового спирта (~ 0,5 %) – полностью впитывались порами подложек, мембранных слоев не образовывалось. Интенсивное впитывание суспензии подложкой наблюдалось при содержании ПВС вплоть до 2-2,5 %. В суспензии на основе оксида алюминия при концентрации ПВС порядка 4 % наблюдалось образование мембранных слоев без впитывания суспензии в подложку, для оксида циркония это наблюдалось при концентрации ПВС около 6 %.

Снижение содержания поливинилового спирта ниже 4-6 % уменьшало вязкость суспензии и толщину мембранного слоя ниже критического

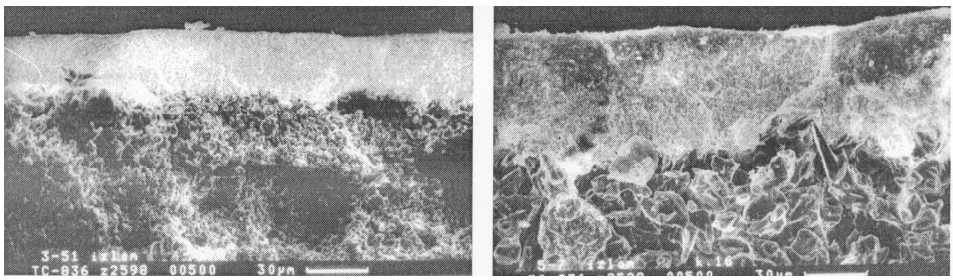
(менее 10 мкм), когда не все неровности и дефекты подложки закрывались мембранным слоем, что приводило к появлению дефектов в спеченных мембранах. Уменьшение количества порошка в суспензии ниже 10 % снижало плотность твердой фазы в слое, что также вызывало появление дефектов.

Рост содержания оксидов алюминия, циркония и связующего выше оптимального приводило к резкому увеличению вязкости суспензии, увеличению толщины мембранного слоя. Это ухудшало его качество и снижало производительность мембраны. Кроме того, значительное повышение вязкости суспензии вызывало значительное повышение количества газовых пузырьков, полностью не устраняемых при приготовлении суспензии, что являлось причиной появления дефектов в мембранном слое.

Мембранный слой наносили погружением микропористых подложек на 1/3 высоты в шликер в течение 120 с. Затем подложки помещали в эксикатор мембранным слоем вверх и высушивали на воздухе при комнатной температуре в течение 24 часов.

Как показали исследования, оптимальная температура спекания для исследуемых порошков диоксида циркония составляла ~ 900 °С, оксида алюминия – 1200-1350 °С. При оптимальной температуре спекания значительного уплотнения образцов не происходило (наблюдали снижение пористости на 1-3 %), при этом наблюдалось их упрочнение.

В результате спекания были получены сплошные микропористые мембранные слои на основе оксидов алюминия и циркония толщиной 20-60 мкм (рис.2). Размер пор полученных таким образом мембран, измеренный методом пузырька [8], составил ~ 300 нм.



а) б)

Рис. 2. Спеченные микропористые мембранные слои на подложке:
а – на основе оксида алюминия; б – на основе диоксида циркония

Нанопористые мембраны. Синтез гелей проводили непосредственно на поверхности образцов. Подложки пропитывали раствором 0,001 М NH_4OH. Затем рабочая поверхность образцов приводилась в контакт с концентрированным водным раствором нитрата алюминия. Время выдержки составляло 60 с.

В результате локального изменения pH вблизи поверхности образца проходил гидролиз нитрата алюминия $Al(NO_3)_3 + 3NH_4OH \rightarrow Al(OH)_3 + 3NH_4NO_3$ с последующей поликонденсацией продуктов реакции. Синтезированный таким образом гель осаждался на поверхность образца и формировал сплошную тонкую мембрану.

В процессе термообработки необходима изотермическая выдержка не менее 30 мин в области интенсивного удаления физически связанной воды (130-150°С) и интенсивного распада гидроксильных связей (450-550°С). Кроме этого, с учетом низкой прочности «сырого» мембранного слоя и сравнительно небольшой адгезии мембранного слоя к подложке, скорость подъема температуры до максимальной должна быть невысокой (от 2-3 до 0,5 град/мин).

С использованием ступенчатого нагрева образцы спекали на воздухе при температуре 750 °С в течение одного часа. Анализ микроструктуры спеченных образцов с нанопористыми мембранами, проведенный на сканирующем электронном микроскопе «CamScan», показал, что образцы характеризуются отсутствием трещин (рис.3). Толщина полученного мембранного слоя составила ~ 1 мкм, размер пор – от 30 до 140 нм.

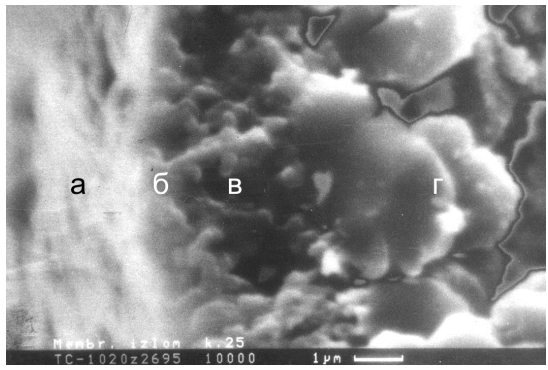


Рис.3. Излом микронанопористого мембранного фильтра:
а – поверхность; б – нанопористая мембрана;
в – микропористая мембрана; г – подложка

Выводы. Показано, что изготовление керамических мембран с градиентной микронанопористой структурой включает два этапа: изготовление микропористых подложек и нанесение мембранных слоев. Разработаны методы получения мембранных элементов с размером пор мембранного слоя 30-140 нм.

Библиографический список

1. *Комоликов Ю.И.* Технология керамических микро- и ультрафильтрационных мембран (обзор) / Ю.И.Комоликов, Л.Л.Благинина // Огнеупоры. – 2002. – № 5.– С. 20-28.

2. *Мулдер М.* Введение в мембранную технологию / М.Мулдер. – М., 1999.

3. Заявка RU 2.088.318, Россия. Керамический фильтр для очистки жидкостей, способ его изготовления и устройство для формования / Ф.М. Хуснетдинов. – 1997.

4. Porous ceramic membrane and method // Патент ЕР 90/15661, 1991.

5. Nijmeijer A. et al. Centrifugal casting of tubular membrane supports // Amer. Ceram. Soc. Bull.– 1998.– Vol. 77, № 4.– P. 95-98.

6. *Каграманов Г.Г.* Получение и свойства ультрафильтрационных керамических мембран / Г.Г.Каграманов, В.В.Назаров, Р.А. Чупис // Огнеупоры и техническая керамика. – 2001.– № 3.– С. 22-25.

7. Vityaz P.A., Shelekhina V.M., Prokhorov O.A., Pilinevich L.P., Petrakov A.V. Development of the Porous Substrates of Ceramic Membrane Filters // J.of Eng. Phys. and Thermophys.– 2004.– Vol.77, No.4.– P. 797-801.

8. *Витязь П.А.* Пористые порошковые материалы и изделия из них / П.А.Витязь, В.М.Капцевич, В.К.Шелег. – Минск: Высшая школа, 1987.

Материал поступил в редакцию 12.03.08.

P.A. VITYAZ, O.A. PROKHOROV, V.M. SHELEKHINA, L.P. PILINEVICH

CERAMIC MEMBRANE FILTERS: MANUFACTURING OF MICRO/NANOPOROUS MEMBRANE ELEMENTS

The present paper introduces to research and development of ceramic membrane filters with gradient micro/nanoporous (30-300 nm) structure.

ВИТЯЗЬ Петр Александрович – вице-президент НАН Беларуси, академик, доктор технических наук. Известный специалист в области порошковой металлургии и композиционных материалов, один их основателей Белорусского концерна порошковой металлургии и научной школы пористых проницаемых материалов.
Автор более 20 монографий по тематике порошковой металлургии и материаловедению.

ПИЛИНЕВИЧ Леонид Петрович – заведующий отделением пористых материалов Института порошковой металлургии НАН Беларуси, доктор технических наук. Ведущий специалист в области создания и применения пористых проницаемых материалов для техники, медицины, экологии.
Автор более 100 научных публикаций.

УДК 621.762

А.Ю.КЕМ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ АЛЮМИНИЯ

Показано, что введение в состав порошка алюминия жидкой пленкообразующей смазки и использование теплого прессования позволяют повысить экологическую безопасность процессов порошковой металлургии алюминия путем снижения пылящей способности мелкодисперсных порошков на стадии прессования и газообразования в прессовках на стадии спекания.
Ключевые слова: *порошок алюминия, мелкодисперсный, пленкообразующие, смазки, прессование, спекание, экология*

Введение. Технологические процессы порошковой металлургии (ПМ) алюминия нашли широкое применение в радио- и электронной технике для изготовления несущих конструкций изделий, таких, например, как корпуса, фланцы, что обусловлено преимуществами ПМ перед другими методами формообразования [1-2].

Однако используемые порошки обладают высокой пылящей способностью на стадии шихтоприготовления и прессования порошковой шихты, а порошковые прессовки - высоким уровнем газообразования вследствие термической деструкции технологических смазок, ухудшающим качество среды спекания и понижающим транспортабельную способность прессовок, результатом чего является снижение эффективности использования и экологической безопасности технологических процессов порошковой металлургии, осуществляемых с участием мелкодисперсных порошков алюминия [3-5].

В этой связи целью настоящей работы является разработка и исследование способа изготовления изделий из мелкодисперсных порошков алюминия, обеспечивающего повышение экологической безопасности процесса путем снижения пылящей способности мелкодисперсных порошков алюминия и газотворной способности прессовок, при сохранении уровня транспортабельных свойств порошковых компактов.

Предварительные исследования показали, что требуемый технический результат можно получить в том случае, когда в качестве технологической смазки используются пленкообразующие растворы [6], в частности, водно-глицериновые гели очищенной натрий-карбоксиметилцеллюлозы, при этом стадия совокупной консолидации реализуется с применением схемы "теплого", в интервале давлений и скоростей прессования, обеспечивающего образование ювенильного контакта между частицами алюминия [3].

Методика работы. Приготовление водно-глицериновых гелей. Основными составляющими гелей являются связующее, растворитель и пластификатор. В качестве связующего использовали очищенную порошкообразную натрий-карбоксиметилцеллюлозу (Na-КМЦ), представляющую собой натриевую соль целлюлозогликолиевой кислоты, получаемую при

взаимодействии целлюлозы с монохлоруксусной кислотой. Na-КМЦ является простым водорастворимым эфиром целлюлозы.

Используемая очищенная Na-КМЦ (70/450 ТУ 6-55-39-90) представляет собой мелкозернистый порошок кремового цвета, имеет однородный химический и фазовый состав, содержит минимальное количество примесей, хорошо растворяется в воде при температуре окружающей среды (максимальная концентрация Na-КМЦ до 10% с полным растворением последней). Очищенная Na-КМЦ не обладает токсическими и раздражающими свойствами; не обладает кумулятивной способностью; не взрывоопасна, поскольку температура воспламенения 240^0С, а самовоспламенения – 560^0С.

В качестве растворителя использовали дистиллированную воду. Водные растворы Na-КМЦ химически устойчивы, сохраняют гомогенную структуру до 6 месяцев. Вода не горюча, не взрывоопасна, не токсична, экологически безопасна и экономически дешева.

В качестве пластификатора использовали дистиллированный глицерин (ГОСТ 6824-96). Глицерин смешивается с водой в широком интервале концентраций и температур, отличается слабой летучестью, температура воспламенения 181-217^0С, самовоспламенения – 362^0С. Экологически безопасен.

Водные 1-3%-ные растворы Na-КМЦ приготавливали при комнатной температуре путем тщательного перемешивания в стандартной мешалке в течение 0,7-1,0 ч при скорости вращения последней 350-500 мин$^{-1}$. Затем в раствор, находящийся в мешалке, вводили 1-5 г глицерина на каждые 100 г водного раствора Na-КМЦ в указанных интервалах концентраций. Раствор дополнительно перемешивали в течение 0,2-0,3 ч и получали гелеобразный водно-глицериновый раствор: пленкообразующую технологическую смазку для алюминиевых порошков.

Использование указанных количеств глицерина связано с тем, что в работе [7] экспериментально доказано, что 1-5 г глицерина на 100 г раствора Na-КМЦ, это именно тот интервал концентраций, который наилучшим образом совместим с водным 1-3%-ным раствором Na-КМЦ.

Увеличение содержания глицерина более 5 г на 100 г раствора не позволяет получить гомогенный гелеобразный раствор вследствие его расслоения. Уменьшение содержания глицерина менее 1 г на 100 г раствора понижает пластичность гелеобразного раствора.

Шихтоприготовление. В стандартный конусный смеситель загружали мелкодисперсный порошок алюминия АСД1 (ТУ48-5-226-87) и вводили 0,3-0,6 мас.% 1-3%-ного водно-глицеринового раствора Na-КМЦ. Для 1 кг порошка АСД1 это составляло 3-6 г раствора Na-КМЦ.

Перемешивание вели при комнатной температуре в течение получаса. Приготовленную таким образом порошковую шихту подвергали испытаниям на пылящую способность. Пробу порошка массой 50 г помещали в трубчатый лоток- циклон с фильтром на выходе, через который продувался воздух с массовым расходом 10 л/мин при ламинарном течении. Одновременно с началом продувки порошковая проба, находящаяся в лотке с помощью инерционного вибратора, приводилась в состояние псевдоожижения. После 15-минутного испытания фильтр с порошком взвешивали с точностью до 0,0001 г и по формуле

$$\left(\frac{M_{ф.к} - M_{ф.н}}{M_{ф.н}} \cdot 100\% \right),$$

где $M_{Ф.Н}$ и $M_{Ф.К}$ – соответственно масса фильтра до и после испытаний, определяли относительную величину потерь массы порошка.

Прессование проводили в стальной пресс-форме с диаметром формообразующей матрицы, равным 10 мм, температуру матрицы изменяли в интервале 75-95^{0}С.

Навеску порошкообразной шихты заданной массы засыпали в формообразующую полость матрицы, после чего осуществляли прессование приложением давления 350-600 МПа к верхнему и нижнему пуансонам. При этом скорость прессования варьировали в интервале (0,5 – 1,5)·10^{-3} м/с. Выпрессовку полученной заготовки из матрицы осуществляли приложением нагрузки к верхнему пуансону.

Определение плотности прессовок осуществляли в соответствие с ГОСТ 18898-95. Методика определения величины транспортабельной способности (способности сопротивляться разрушению на транспортных операциях технологического процесса) прессовок заключалась в следующем. В шаровую мельницу без шаров объемом один литр загружались прессовки. Масса прессовок во всех случаях не превышала 100 г. Частота вращения шаровой мельницы поддерживалась на уровне 10 мин $^{-1}$. Продолжительность вращения 0,5 ч. После выгрузки взвешивались только не разрушившиеся прессовки, после чего рассчитывали выход годных изделий в процентах.

Определяли также уровень газообразования по потере массы при нагреве до температур на 50^{0}С выше, чем соответствующая максимальная температура воспламенения, входящих в состав раствора Na- КМЦ компонентов. В данном случае это была температура 290^{0}С. Продолжительность выдержки составляла 0,7 ч.

Результаты работы и их обсуждение. Полученные экспериментальные результаты (табл.1-3) показывают, что введение в состав алюминиевого порошка 1-3%-ных водно-глицериновых гелей очищенной натрийкарбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) в количестве 0,3-0,6 мас.% инициирует протекание процесса агрегирования мелкодисперсных частиц алюминиевого порошка в гранулы, что способствует снижению пылящей способности. При этом низкая пылящая способность алюминиевой шихты, полученной предлагаемым способом, проявляется независимо от анизотропии формы частиц алюминиевого порошка.

Известно, что деформирование порошкового пористого тела необходимо связывать с перемещением частиц. Уже на начальных стадиях прессования блокированные частицы при движении вынуждены раздвигать ближайшие соседние частицы. Это вызывает возникновение в точках контакта дополнительных контактных сил и вызывает стесненное относительное движение частиц в ансамбле, происходящее в условиях внутреннего давления, пропорционального объемной доле блокированных частиц.

При относительном движении частицы теряют прежних соседей и приобретают новых, а это связано с разрушением "старых" и образованием "новых" контактов. Поэтому в точке контакта частицы имеют две составляющие относительного перемещения: касательную к поверхности частицы и по нормали к ней. Причем ввиду жесткости частиц и малости

контактных зазоров между ними основное относительное движение – движение по касательной – определяет возможность сдвига поверхностного слоя частицы с образованием ювенильной поверхности, в то же время движение по касательной обусловливает и формоизменение всей совокупности частиц.

Прессование при давлениях 350-600 МПа, со скоростью $(0,5\text{-}1,5)\cdot10^{-3}$ м/с, обусловливает "выдавливание" излишков гелеобразной технологической смазки из внутрипорового пространства уплотняемого конгломерата частиц на образующую поверхность пресс-формы в процессе прессования. При этом 1-3%-ные водно-глицериновые гели очищенной натрий-карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) играют роль среды, смазывающей поверхность контакта частиц порошка с формообразующей поверхностью матрицы (эффект расклинивающего давления тонкого слоя жидкости [6]). Тем самым достигается дополнительный технический эффект, заключающийся в повышении износостойкости пресс-форм для прессования мелкодисперсных порошков алюминия.

Необходимо отметить, что использование давлений ниже 350 МПа не позволяет получить высокой плотности прессовок, поскольку часть жидкой технологической смазки остается в ее порах. Более того, при последующем спекании, то есть при термической обработке прессовки, образуются газообразные продукты термической деструкции технологической смазки, давление в порах повышается, что приводит к разуплотнению прессовки в целом [8-9]. Использование давлений сверх 600 МПа при прессовании мелкодисперсных порошков алюминия приводит к так называемой "перепрессовке", что проявляется в появлении трещин и расслоений по высоте прессовок. Кроме того, повышение уровня давлений сверх указанной величины снижает долговечность пресс-форм для прессования вследствие их ускоренного разрушения.

Таблица 1

Пылящая способность порошковой шихты

Режим приготовления порошковой шихты	Относительная величина потери массы порошковой шихты, %
1. Классический	1,25
2. Исследуемые: 0,5%-ный раствор Na-КМЦ: 0,6 мас.%	 1,18
1%-ный раствор Na-КМЦ: 0,3 мас.% 0,5 мас.% 0,6 мас.%	 0,4 0,35 0,32
2%-ный раствор Na-КМЦ: 0,3 мас.% 0,5 мас.% 0,6 мас.%	 0,31 0,28 0,23
3%-ный раствор Na-КМЦ: 0,3 мас.% 0,5 мас.% 0,6 мас.%	 0,22 0,18 0,12
4%-ный раствор Na-КМЦ: 0,3 мас.%	0,10 – отмечена потеря текучести порошковой шихты, обусловленная излишней степенью агрегирования частиц

***Примечание**. Классический режим - введение в шихту твердой смазки, в количестве до 1,5 мас.%, прессование порошковой смеси в «холодную» до плотности 85-88%, деструкция смазки при 480-500°С в течение одного часа, второе прессование до плотности 95-98% от теоретически возможной, спекание.*

Таблица 2

Плотность и транспортабельная способность прессовок

Режим приготовления порошковой шихты	Плотность прессовок, %	Выход годных, %
1. Классический	17	18
2. Исследуемые:		
0,5%-ный раствор Na-КМЦ, скорость прессования 10^{-3} м/с, давление 220 МПа:		
0,6 мас.%	10	58
1%-ный раствор Na-КМЦ, скорость прессования $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ м/с, давление 250 МПа:		
0,3 мас.%	3	87
0,5 мас.%	4	88
0,6 мас.%	3	90
2%-ный раствор Na-КМЦ, скорость прессования $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ м/с, давление 320 МПа:		
0,3 мас.%	4	90
0,5 мас.%	3	92
0,6 мас.%	3	94
3%-ный раствор Na-КМЦ, скорость прессования $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ м/с, давление 300 МПа:		
0,3 мас.%	4	90
0,5 мас.%	3	93
0,6 мас.%	3	92

Повышение скорости прессования сверх $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ м/с приводит к тому, что жидкая технологическая смазка не удаляется полностью из внутренних объемов прессовки, поскольку скорость образования закрытых пор, в которых захлопывается технологическая смазка, в этом случае превышает скорость истечения смазки под действием давления, прикладываемого к прессуемому порошку алюминия.

Таблица 3

Уровень газообразования в прессовках

Режимы приготовления порошковой шихты	Потеря массы, %
1. Классический	1,2
2. Исследуемый:	
0,5%-ный раствор Na-КМЦ, скорость прессования 10^{-3} м/с, давление 220 МПа:	
0,6 мас.%	0,5
1%-ный раствор Na-КМЦ, скорость прессования $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ м/с, давление 250 МПа:	
0,3 мас.%	0,10
0,5 мас.%	0,11
0,6 мас.%	0,12
2%-ный раствор Na-КМЦ, скорость прессования $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ м/с, давление 320 МПа:	
0,3 мас.%	0,09
0,5 мас.%	0,10
0,6 мас.%	0,11
3%-ный раствор Na-КМЦ, скорость прессования $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ м/с, давление 300 МПа:	
0,3 мас.%	0,11
0,5 мас.%	0,12
0,6 мас.%	0,125

В то же время понижение скорости прессования до уровня менее $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ м/с технологически не эффективно, поскольку снижает производительность процесса в целом.

Кроме того, проведение процесса прессования в пресс-форме, температура которой поддерживается на уровне 75-95^{0}С, способствует наиболее полному удалению излишков технологической смазки, которая при этих температурах обладает наилучшей жидкотекучестью, что обусловлено понижением вязкости гелеобразного раствора Na-КМЦ, делает ненужной операцию обезгаживания. Это улучшает экологическую обстановку, поскольку резко уменьшается количество газообразных продуктов термической деструкции в атмосфере.

Следует отметить, что водно-глицериновые гели на основе Na-КМЦ экологически безопасны, поскольку срок их разложения программируется.

Оценивалась также производительность предлагаемого способа в сравнении с классическим по времени, затрачиваемому на изготовлении 1 детали (нормо-час/ деталь). При изготовлении партии из 100 деталей известным способом производительность составила 0,43 нормо-час/деталь, в то время как использование предлагаемого способа позволило достичь производительности на уровне 0,19 нормо-час/ деталь. Повышение производительности связано с исключением операций по обезгаживанию прессовок и их повторному прессованию.

При этом, если в первом случае на формообразующей поверхности пресс-формы уже после 48 циклов прессования наблюдались следы наволакивания мелкодисперсного порошка алюминия, а на образующей поверхности деталей образовывались вследствие этого задиры-царапины, то во втором случае указанные дефекты отсутствовали после прессования 100 деталей. Это свидетельствует о том, что при использовании предлагаемого способа обеспечиваются условия, способствующие повышению износостойкости формообразующих поверхностей пресс-форм для прессования мелкодисперсных порошков алюминия.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение предлагаемого способа позволяет повысить механические (транспортабельные) свойства, производительность и экологическую безопасность технологического процесса получения изделий из алюминия путем снижения пылящей способности мелкодисперсных порошков алюминия на стадии прессования и газообразования на стадии спекания.

Библиографический список

1. *Кем А.Ю.* Специальные методы порошковой металлургии для изделий электронной техники / А.Ю.Кем. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2006. –153 с.

2. *Кем А.Ю.* Влияние технологической наследственности и режимов термической обработки на структуру и свойства порошковых алюминиевых сплавов/ А.Ю.Кем // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – №5. – С.53-56.

3. *Кем А.Ю.* Технологические особенности порошковой металлургии алюминия / А.Ю.Кем // Обзоры по электронной технике. – М.: ЦНИИ "Электроника". – 1990. – Сер.7, ТОПО. – Вып.6 /1528. – 52 с.

4. А.с. SU N 1675052 A1, B 22 F 1/00, 3/12. Способ получения заготовок из мелкодисперсного порошка алюминия / А.Ю.Кем, В.И.Зеленский, В.Г.Егоров, Т.П.Болотная. – Опубл. в Б.И, 1991. – № 33.

5. *Кем А.Ю.* Влияние условий прессования на структуру и свойства порошковых алюминиевых сплавов, легированных медью и магнием /А.Ю.Кем // Порошковая металлургия. – 1992. – № 8. – С. 44-48.

6. *Зимон А.Д.* Адгезия пыли и порошков / А.Д.Зимон: изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1976. – 432 с.

7. *Антонова Н.М.* Формирование структуры и свойств защитных покрытий с металлическими порошками Al, Fe, Zn и связующим натрий-карбоксиметилцеллюлоза / Н.М. Антонова: Автореф. дисс…канд.техн. наук. – ЮРГТУ (НПИ). – 2006. – 24 с.

8. *Левинский Ю.В.* Влияние газа на процесс спекания пористых тел /Ю.В.Левинский // Порошковая металлургия. –№ 7. –1979. – С. 38-42.

9. *Кем А.Ю.* Исследование и расчет особенностей разуплотнения спекаемого пористого тела на стадии удаления продуктов деструкции технологических смазок / А.Ю.Кем // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Сер. Технические науки. – 2000. – № 4.– С.16-23.

Материал поступил в редакцию 28.02.08.

A.JU. KEM

TECHNOLOGICAL FEATURES OF PROCESSING OF FINE DISPERSE POWDERS OF ALUMINIUM

It is shown, that introduction in structure of a fine disperse powder of aluminium of liquid film-forming greasing and use of warm pressing allows to increase ecological safety of technological process of reception of products from fine disperse powders of aluminium, by decrease in raising dust ability of fine disperse powders of aluminium by stages of pressing and formation of gases on stages of sintering.

КЕМ Александр Юрьевич (р.1949), доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» ДГТУ. Окончил РИСХМ (1972). Изобретатель СССР; награжден серебряной медалью ВДНХ СССР.

Область научных интересов – процессы порошковой металлургии.

Научные публикации: 2 монографии, 13 учебных и учебно-методических пособий, более 125 научных статей и сообщений, 40 авторских свидетельств СССР и патентов РФ на изобретения.

УДК 678.5.046.621.762

И.А.ЗОРИЕВ

ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ С ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СМАЗКИ

Разработана новая конструкция подшипника скольжения, исключающая потерю смазки через пористые торцы подшипника. Наличие эластичных манжет обеспечивает герметизацию торцев.
Ключевые слова: *подшипник скольжения, металлокерамика, полимер, блокирование утечек.*

Введение. Условия работы неподвижных и подвижных уплотнительных узлов предполагают одновременное действие температурно-силового нагружения, а также влияние окружающей среды (пыли, влажности и т.п.).

Штатные рабочие нагрузки в уплотнительных трибосистемах могут достигать температуры 70-200°С и контактных напряжений 10 МПа. Материал уплотнения и его конструкция только в комплексе обеспечат выполнение им своих функций в агрегате при требуемой надежности и ресурсе.

Основное назначение уплотнительных устройств – это обеспечение работоспособности подшипниковых узлов путем сохранения в них жидких или консистентных смазок и предотвращения попадания в зону трения абразивной пыли и химически активных технических сред.

Таким образом, рациональный подбор материала и конструкции уплотнения современных высокоскоростных и термонагруженных подшипников является весьма сложной и актуальной задачей триботехники.

Постановка задачи. Объектом исследования в данной статье является пористый подшипник скольжения, изготовленный методом порошковой металлургии и пропитанный маслом (рис.1).

Подробные исследования подобных подшипников, выполненные в работе [1], показали, что эффект самосмазывания обеспечивается терморасширением смазочного материала и, в связи с этим, поступлением масла из подшипниковой втулки в контактную зону трибосистемы. Температура в подшипниковом узле повышается в результате трения. Маслоемкость подшипниковой втулки обеспечивается ее пористостью и сорбционно-капиллярными эффектами.

Пористые подшипники запрессовывают в различные конструкции, где они выполняют свои функции. Наличие непроницаемого корпуса на наружной поверхности пористого подшипника исключает утечку масла с этой поверхности. Однако при таком конструктивном решении подшипника скольжения происходят существенные потери смазки сквозь контактирующие с атмосферой поры открытых торцевых поверхностей и радиальные зазоры. Это снижает надежность и ресурс трибосистемы, так как запас смазки в порах подшипника ограничен, а возобновление запаса смазки не предоставляется возможным.

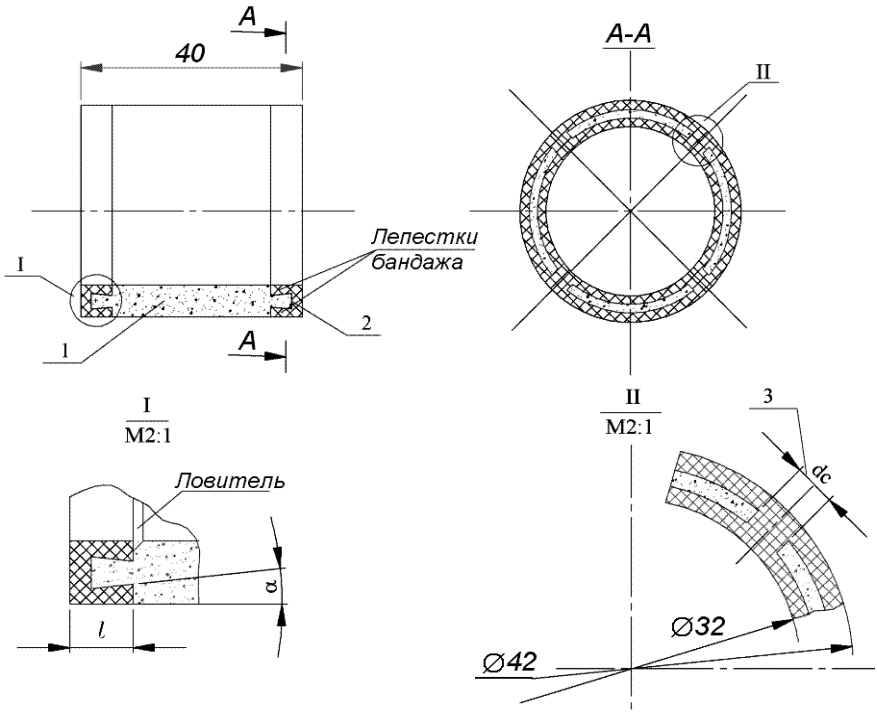


Рис.1. Пористый подшипник скольжения с замкнутой циркуляционной системой смазки: 1 – пористая матрица; 2 – манжета герметизирующая; 3 – соединительные перемычки

Исключение описанных недостатков существующей конструкции самосмазывающихся металлокерамических подшипников скольжения может быть выполнено путем рационализации конструкции пористой втулки и подбора материала для уплотнительной системы.

Конструкторское решение. Одним из перспективных конструкторских решений поставленной задачи является создание подшипника с замкнутой циркуляционной системой смазки (рис.2). Подобная подшипниковая втулка из пористой металлокерамики, пропитанная маслом, имеет на торцевых поверхностях эластичные манжеты [1], выполняющие две функции: предотвращают утечку смазочного реагента со свободных торцев и перекрывают зазоры подшипник-вал. Крепление уплотнений на торцах подшипниковой втулки обеспечивается кольцевым замковым выступом «ласточкин хвост» с углом α по образующей к втулке. Кольцевые выступы с торцев втулки выполняются прерывистыми с шагом отверстий ∅6 мм (или с угловым шагом 45 градусов); выступы получают токарной обработкой.

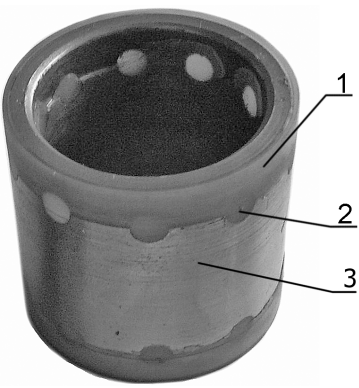


Рис.2. Подшипник скольжения с замкнутой циркуляционной системой смазки: 1 – манжета; 2 – соединительные перемычки; 3 – пористая матрица

Эластичные полимерные уплотнения выполняют из полиамида марки $\text{БАБ}\frac{210}{210}$ при установке подшипниковой втулки с крепежными проточками в литьевую пресс-форму. Затем протачивают на внутренней поверхности фаски – «ловители». Готовую подшипниковую втулку пропитывают маслом.

Методика исследований. Для оценки эффективности разработанной конструкции подшипника скольжения проводились сравнительные экспериментальные исследования. Исследования велись на специальном испытательном стенде, собранном на базе токарно-винторезного станка. Средняя контактная нагрузка при испытаниях составляла 4МПа, скорость скольжения 0,75м/с.

Нагрузочное устройство стенда работает следующим образом (рис.3). Отверстие пористого образца 1, обработанного поверхностным пластическим деформированием до Н8, устанавливается в обойму 7 и фиксируется винтами 16. Затем обойму с подшипником одевают на вал 8. На торце вала закрепляется поводок 4, а сам вал устанавливают между центрами 2 и 9. Нагрузку на подшипник осуществляет натяжное кольцо 5 через шаровую опору 6, которая выполняет функцию регулирования положения трибоповерхности подшипника относительно поверхности вала. Через штырь 10 нагрузка рычагом 11 передается натяжному кольцу 5. Таким образом пористый подшипник поджимается к валу с заданным усилием. Контроль нагрузки 15 осуществляется динамометром 14. Кронштейн 12 устанавливается на суппорт 13 станка вместо резцедержателя. Предотвращение фильтрации смазки через наружную поверхность подшипниковой втулки обеспечивалось покрытием ее лаком. Критерием предела работоспособности втулок считалось резкое возрастание коэффициента трения.

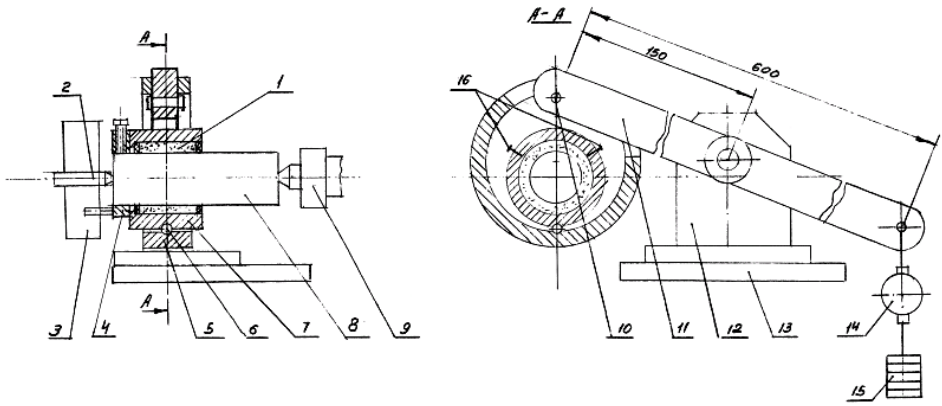


Рис.3. Схема нагрузочного устройства: 1 – пористый образец; 2 – центр; 3 – патрон токарный; 4 – хомут поводковый; 5 – кольцо натяжное; 6 – опора шаровая; 7 – обойма; 8 – вал; 9 – центр вращающийся; 10 – штырь; 11 – рычаг; 12 – опора; 13 – суппорт станка; 14 – динамометр; 15 – груз; 16 – винты стопорные

Результаты исследований. Все втулки имели пористость 20%. Содержание масла в порах втулок оценивалось весовым способом (табл.1).

Таблица 1

Параметры подшипниковых втулок

Тип втулок	Масса втулок, г		Среднее кол-во смазки, г
	До пропитки	После пропитки	
Серийные	137,5228	141,4637	3,9142
	137,8913	141,5721	
	137,3064	141,4072	
С манжетами	121,2332	124,5973	3,4482
	121,1938	124,6849	
	121,1343	124,6237	

Анализ табличных данных показывает, что объем смазки во втулках с манжетами на ~12% меньше, чем в серийных. Это связано с тем, что манжеты закрывают торцевые и прилегающие к ним участки поверхности втулок.

Результаты исследований на испытательном стенде приведены в табл.2.

Таблица 2

Результаты фрикционных испытаний

Тип втулок	Масса втулок, г		Среднее кол-во смазки, г
	До испытания	После испытания	
Серийные	141,4637	138,4066	2,9917
	141,5721	138,8211	
	141,4072	138,2435	
С манжетами	124,5973	124,0722	0,4816
	124,6849	124,2477	
	124,6237	124,1413	

Испытания проводились в гидродинамическом режиме смазывания. Критерием их окончания явилось резкое возрастание коэффициентов трения у серийных втулок в связи с переходом к режиму граничной смазки. Ресурс этих втулок составил в среднем 60 часов. При этом втулки потеряли 76,4% исходного объема смазки. Подшипниковые втулки с манжетами проработали 240 часов, потеряв всего 14% смазки, и могли эксплуатироваться далее.

Анализ результатов фрикционных исследований подтвердил высокую эффективность разработанной конструкции металлокерамических втулок подшипников скольжения. Некоторое снижение маслоемкости во втулках с манжетами при их пропитке практически не сказалось на их работоспособности. Режим гидродинамического трения сохранялся на протяжении всего испытаний.

Выводы:

1. Ресурс серийных подшипниковых втулок определяется величиной потерь смазки, что вызывает переход к менее эффективному режиму смазывания – граничному.
2. Снижение маслоемкости при пропитке подшипниковых втулок с манжетами в пределах 10-15% не влияет на их ресурс.
3. Предлагаемая конструкция металлокерамических втулок обеспечивает значительное повышение их ресурса.
4. Проведенные исследования позволили полностью оценить конструктивное решение удержания смазки в зоне трения.

Библиографический список

1. *Мошков А.Д.* Порошковые антифрикционные материалы / А.Д.Мошков. – М.: Машиностроение, 1968.

2. Патент №64302. Подшипник скольжения / И.А. Зориев. Приоритет 12 февраля 2007г. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 июня 2007г.

3. *Зориев И.А.* Пористый подшипник скольжения с замкнутой циркуляционной системой смазки // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатроники: мат. V Международ. науч.-прак. конф. – Новочеркасск, 2006. – С. 44.

Материал поступил в редакцию 20.02.08.

I.A.ZORIEV

BEARINGS OF SLIDING WITH THE CLOSED SYSTEM OF CIRCULATING GREASING

The new design of the bearing of sliding excluding loss of greasing through porous end faces of the bearing is developed. Presence of elastic cuffs provides hermetic sealing an end face.

ЗОРИЕВ Илья Андреевич (р.1983), инженер, соискатель кафедры «Авиастроение» ДГТУ. Окончил факультет «Автоматизация и информатика» ДГТУ (2007).
Научные интересы: изучение трибосистем и технологий их производств.
Имеет 6 публикаций, 2 патента.

УДК 621.91.02: 621.793

**М.ВЕЧОРОВСКИ, А.МАТУШАК-ШАРАНЕЦ,
К.ВЕЧОРОВСКИ, Т.КЕНДЗЕРСКИ (Польша)**

ИЗНОС РЕЖУЩИХ КРОМОК ПАЛЬЦЕВЫХ ФРЕЗ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ШПОНОЧНЫХ ПАЗОВ

Представлены результаты исследований износа режущих кромок твердосплавных шпоночных фрез с износостойкими покрытиями при фрезеровании шпоночных пазов. Фрезеровали закрытые и открытые пазы (с выходом на торец вала). Исследования проводились на заготовках с твердостью 42-44HRC. В обоих случаях изучали характер износа торцевых и периферийных режущих кромок фрез.
В статье представлены кривые износа режущих кромок из твердого сплава с износостойкими покрытиями TiN, $TiAlN$ и $TiAlCN$; для сравнения приведены данные по износу твердосплавной фрезы модифицированной конструкции.
Ключевые слова: *шпоночный паз, пальцевая фреза, износ режущей кромки.*

Введение. Значительная часть машин и производственных установок состоит из корпуса как элемента, соединяющего все узлы и функциональные части в одно целое. Силовыми элементами большинства машин и механизмов являются зубчатые передачи, смонтированные на валах и осях с помощью шпоночных и шлицевых соединений. Чаще всего соединение вала с зубчатым колесом осуществляется стандартным шпоночным соединением согласно польскому стандарту PN/91/859092 типа «А» с глухим пазом или типа «С» с открытым пазом (с выходом фрезы на торцевую поверхность вала. На рис.1 показаны два способа изготовления шпоночных пазов пальцевой фрезой [1,8,11]. Глухие пазы типа «А» получают на специальном фрезерном станке, работающем с возвратно-поступательным движением (рис.1,А). Фреза имеет возвратно-поступательное движение, с заглублением в заготовку в конце рабочего цикла. Глубина фрезерования зависит от формы режущей кромки на торце фрезы и составляет обычно (0,025-0,08) мм. Процесс обработки продолжается в автоматическом режиме, вплоть до достижения окончательной глубины паза h_D.

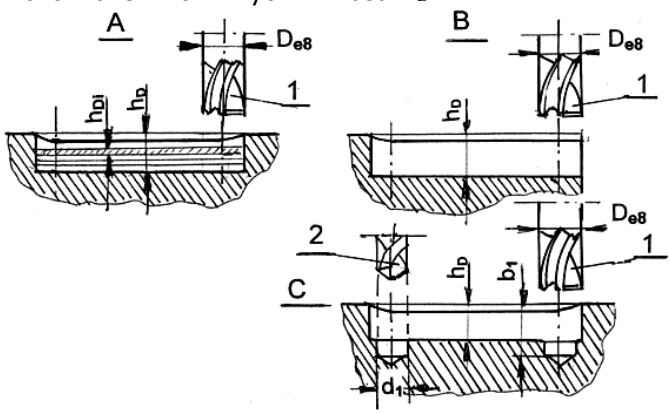


Рис.1. Способы изготовления пазов пальцевой фрезой: А – фрезерование закрытого паза методом возвратно-поступательного движения, В – фрезерование торца вала на полную глубину, С – фрезерование глухого паза после предварительно просверленных отверстий: 1 - фреза пальцевая; 2 – сверло; h_D - глубина паза; h_{D_i} - глубина резания на одном переходе; D_{e8} -диаметр фрезы; α_1 - диаметр сверла; $в_1$ - глубина сверления

Изготовление пазов пальцевой фрезой может осуществляться и на горизонтальном станке, если паз имеет выход на торец вала (рис.1,В), при этом фреза устанавливается на полную глубину паза h_D. Из этого положения фреза перемещается до крайнего положения с подачей f_z. При изготовлении глухих пазов на концах паза иногда высверливается одно или два отверстия сверлом диаметром d_1, меньшим, чем ширина паза, и глубиной $в_1$, большей, чем глубина паза (рис.1,С). В этом случае фреза углубляется в предварительно полученное сверлом отверстие, рассверливает его и после достижения максимальной глубины паза перемещается к противоположному краю с продольной подачей f_z.

Представленные способы изготовления шпоночных пазов обусловливают различные виды износа пальцевых фрез.

Износ режущих кромок пальцевых фрез. Многочисленными исследованиями [2,3,6,13] установлено повышение стойкости режущих инструментов применением специальных износостойких покрытий, которые одновременно обеспечивают и высокую точность изготовления шпоночных пазов [4,5]. Применение этих покрытий контролировалось прибором фирмы ITA.

На рис.2 представлены результаты исследования износа твердосплавных пальцевых фрез с тремя видами износостойких покрытий, при этом были использованы статистические методы планирования эксперимента. Исследования проводились при обработке глухих шпоночных пазов на фрезерном станке модели 6293А, работающем в режиме возвратно-поступательных движений. При каждом следующем проходе фреза автоматически углублялась на величину h_{D_i} =0,025 мм.

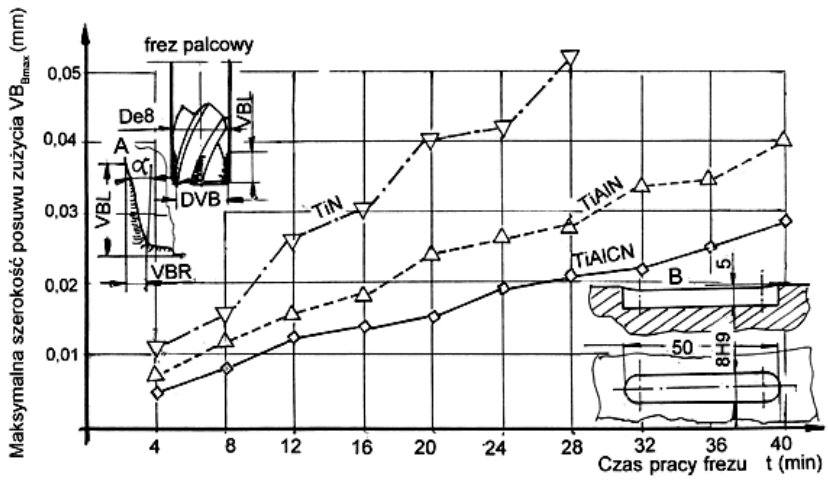


Рис.2. Максимальная ширина фаски износа фрезы с покрытиями из TiN, $TiAlNC$ и $TiAlNC$: А – форма изношенной кромки фрезы; В – форма шлицевого паза типа «А» согласно PN. Условия эксперимента: заготовка – сталь 4SHNMF (40-44 HRC); скорость резания V_C =168 м/мин, подача f_2=0,035 мм/зуб., диаметр фрезы D_{e8} 8мм, угол наклона винтовой канавки ω=55$^{0;}$ условия обработки – согласно рекомендациям [9,14]

Износ режущих кромок фрез протекал следующим образом:

1) сначала материал удалялся с торцевой поверхности фрезы и переходных радиусов между цилиндрической и торцевой поверхностями;

2) по мере углубления фрезы износ распространялся от торцевой поверхности вплоть до достижения полной глубины паза VBL (см.рис.2);

3) одновременно со стороны торца фрезы слой покрытия полностью удаляется, и в процессе износа принимает участие твердый сплав - основа инструмента;

4) торцевые режущие кромки фрезы изнашивается незначительно (0,6мм);

5) наибольшему разрушению подверглись режущие кромки на переходном радиусе – точка «Р» (рис.3), между цилиндрической и торцевой поверхностями фрезы.

На некоторых участках режущих кромок можно было обнаружить удаление целых фрагментов материала, что напрямую связано с минимальной глубиной фрезерования h_D в точке «Р» (см.рис.3) [10]. Рассматривая износ кромок на цилиндрической поверхности под углом λ (см.рис.2,А), видим, что наибольший износ по диаметру фрезы DVB наблюдается у торца, а наименьший – в области совпадающей с наружной поверхностью торца.

Анализ полученных результатов износа фрезы показывает, что фреза изменяет свои геометрические размеры, и шпоночный паз имеет наклонные поверхности.

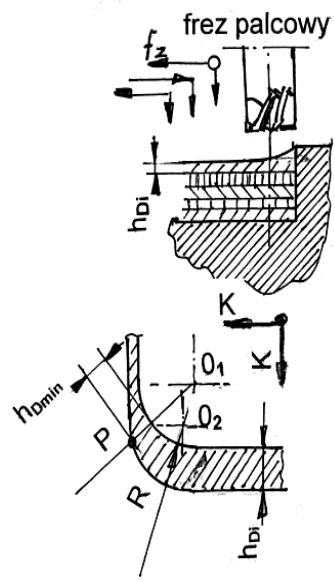


Рис.3. Поперченное сечение слоя, срезаемого режущими кромками, расположенными на переходном участке между цилиндрической и торцевой поверхностями: Р – точка минимальной толщины срезаемого слоя во время углубления фрезы в торцевую поверхность; К – направление перемещения фрезы; O_1, O_2 – очередные положения центра радиуса скругления переходной кромки

Кривые износа показывают, что наибольшей долговечностью обладают режущие кромки, покрытые $TiAlCN$, а наименьшей – покрытые TiN. Кроме этого пазы, изготовленные фрезами с покрытием $TiAlCN$, имели меньшие значения шероховатости Ra на боковых поверхностях. Распределение параметров шероховатости на боковых поверхностях паза приблизительно соответствует параметрам износа кромок. У основания паза шероховатость примерно на 50% больше, чем на вершине; на вершине Ra =(0,76-0,98) мкм, у основания Ra =(1,25-1,63) мкм.

На рис.4. представлены данные по износу фрез при обработке открытых пазов с глубиной резания, равной глубине паза h_D =5мм; при этом применялись фрезы с теми же самыми покрытиями, как и при фрезеровании глухих пазов. Из сравнения кривых износа видно, что в рассматриваемом случае процесс износа более интенсивен. Практически после 24 минут фрезерования кромки изнашиваются до такой степени, что геометрические

размеры изготавливаемого паза превышают допустимые размеры. Износ по всей глубине паза VBL равномерный (рис.4,А). Фреза уменьшается в диаметре DVB практически одинаково на всей длине VBL. Наибольший износ имеют фрезы с покрытием TiN, наименьший - $TiAlCN$. Разница в износе фрез с покрытиями TiN ($VB_{B\max}$ =0,054 мм) и $TiAlCN$ (VB =0,029 мм) составляет почти 50%.

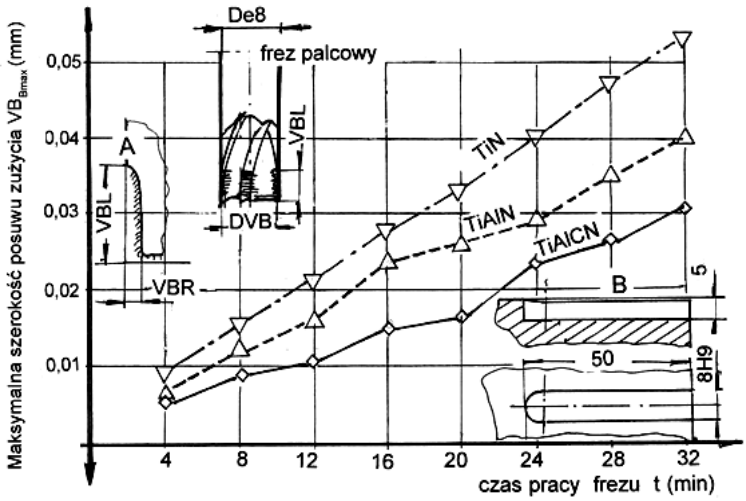


Рис.4. Максимальная ширина распространения износа при изготовлении шпоночного паза типа «С» согласно PN: А - форма изношенной кромки; В – форма шпоночного паза типа «С» согласно PN; условия эксперимента: сталь 45HNMF после закалки до 42-44 HRC; скорость резания V_C =88 м/мин; подача на зуб f_2 =0,025 мм/зуб; горизонтальный фрезерный станок, пальцевая фреза D_e=8 мм, угол наклона винтовой канавки 55^0

На рис.5 показано поперечное сечение срезаемого слоя переходной режущей кромкой; P - критическая точка, которая делит предлагаемый срезаемый слой на две части: первая уходит в стружку, а вторая пластически деформируется и располагается на дне паза.

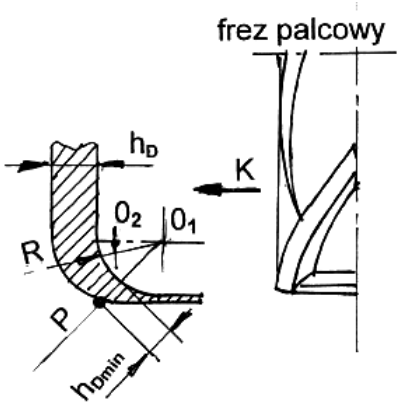


Рис.5. Поперечное сечение слоя, срезаемого режущими кромками фрезы, расположенными на переходном участке между цилиндрической и торцевой поверхностями; Р – критическая точка с наименьшей толщиной срезаемого слоя; К – направление перемещения фрезы; R – радиус переходного участка; 0_1, 0_2 – текущие положения центров радиуса переходного участка

На рис.6 представлены примеры изношенных пальцевых фрез; стрелками указаны места наибольшего разрушения кромок в переходной области между цилиндрической и торцевой поверхностями в начале переходной кромки.

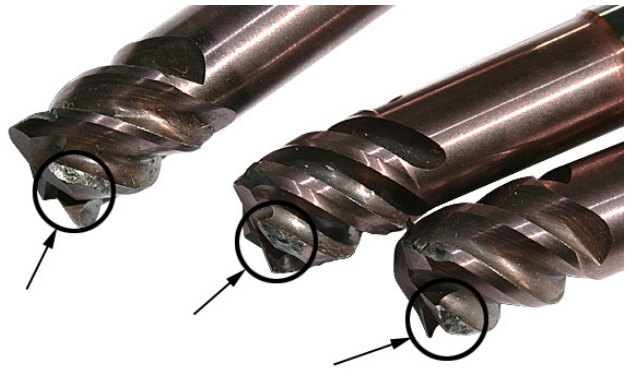


Рис.6. Примеры изношенных торцевых фрез после фрезерования шпоночного паза типа «С»; условия эксперимента аналогичны приведенным на рис.4 (материал 45HNMF; твердость 42-44 HRC; V_C =88 м/мин; f_1 =0,025 мм/зуб; D_{e8} =8 мм)

На рис.7 представлена режущая кромка фрезы из переходной области. Стрелкой указано значительное разрушение в точке «Р». Практически на всех режущих кромках наблюдались большие изменения величины износа на переходном участке. Эти места соответствуют расположению критической точки на переходном участке [10].

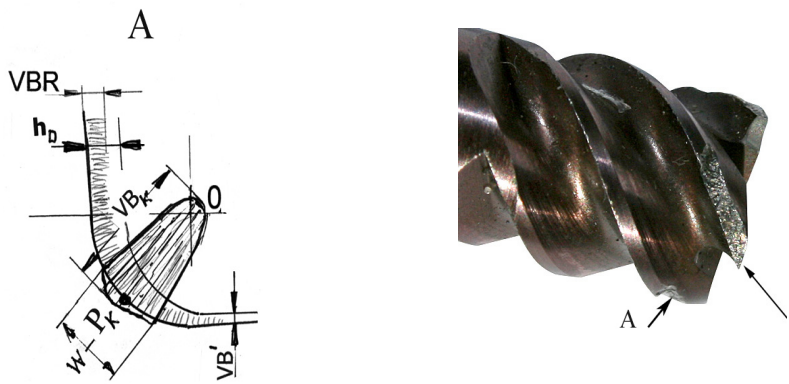


Рис.7. Износ торцевой фрезы на переходном участке – видна точка Р (см.рис.3)

Выводы. Представленные результаты исследований позволяют однозначно утверждать, что применение покрытий повышает износостойкость по сравнению с фрезами из твердого сплава.

Сравнение кривых износа на рис.2 и 4, несмотря на различные скорости резания, позволяет дать положительную оценку методу изготовления пазов возвратно поступательным движением. При фрезеровании паза при максимальной глубине, при меньших (около 50%) скоростях резания получен больший износ. Важным вопросом является критическая точка

«Р», где режущая кромка выкрашивается. Эта точка присутствует в обоих методах фрезерования, однако, его месторасположение различно. Поэтому целесообразно внесение изменений в конструкцию фрезы с целью повышения износостойкости и прочности. Принимая во внимание «конусообразный» износ фрезы при работе по схеме возвратно-поступательного движения, следует изменить форму режущей кромки на цилиндрической поверхности таким образом, чтобы избежать этого явления.

Анализ результатов данных исследований позволяет предположить, что износ фрез с диаметром более 8мм будет происходит аналогично, что требует практического подтверждения; одновременно целесообразно провести изучение износа фрез и с диаметром менее 8 мм.

Авторы статьи проводили эксперименты по фрезерованию глухих и открытых шпоночных пазов пальцевыми фрезами, изготовленными из твердого сплава и с покрытиями.

Результаты экспериментов показали, что в обоих методах фрезы без покрытия изнашивались в два раза интенсивней, чем фрезы с покрытием TiN.

Библиографический список

1. *Kiepuszewski Br. Technologia budowy maszyn*, PWT. – Warszawa, 1960.

2. *Kolev N.S. Wieczorowski K. Legutko St. Tomkowiak P. Kędzierski T.* Badania trwałości i zużycia płytek z węglików spiekanych pokrywanych techniką PVD, ZN. Politechniki Poznańskiej. Mechanika, Nr 48.

3. *Kupczyk M.* Influence of coatings thickness upon tool life and wear, 3th Int. Conf. on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen.

4. *Kupczyk M.* Application of multiphase coatings on tools, Wyd.Techna Florence, 1994.

5. *Kupczyk M., Wieczorowski K.* Tribological properties of compound layers obtained by PVD method Euro Metal Working' 94 Univ. of Udine, 1994.

6. *Kupczyk M., Wieczorowski K.* Tool life of cutting tool edges coated with mononitrides and composite coatings, Postępy technologii maszyn i urządzeń, ZN PAN Nr3. – Warszawa, 1999.

7. *Pająk E., Wieczorowski K.* Podstawy optymalizacji operacji technologicznych w przykładach, PWN Warszawa – Poznań, 1982.

8. Poradnik Inżyniera. Obróbka skrawaniem T III, WNT, 1994.

9. *Przybylski L.* Strategia doboru warunków obróbki współczesnymi narzędziami, Wyd. Politechniki Krakowskiej. – Kraków, 2000.

10. *Storch B.* Zjawiska przykrawędziowe i monitorowanie chropowatości powierzchni po obróbce jednoostrzowej, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2006.

11. *Tymowski J.* Technologia budowy maszyn, WNT, 1989.

12. *Wieczorowski K., Kupczyk M., Wieczorowski M.* Measurement of coating adhesion to cutting edges by the scratch method, ZN Państw. Univ. W Charkowie. – Charków, 1999.

13. *Wieczorowski K., Legutko St.* Technika cienkich warstw w zastosowaniu do narzędzi skrawających, Cz. Mechanik r 8-9. – Warszawa, 1993.

14. *Żebrowski H.* Techniki wytwarzania. Obróbka skrawaniem, ścierna, erozyjna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. – Wrocław, 2004.

Материал поступил в редакцию 22.02.08.

**M.WIECZOROWSKI, A.MATUSIAK-SZARANIEC,
K.WIECZOROWSKI, T.KĘDZIERSKI**

INVESTIGATIONS ON WEAR OF THE MILING CUTTERS EDGES FOR SPLINEWAY

In the paper, the results of investigations on the milling cutters edges for splineway with and without hard surface layers. The wear examinations were divided into two groups: a) milling of the closed splineway and b) milling of the splineway opened on one side. The investigations were performed with material hardened up to 40-44 HRC. In both cases, the characteristics of the wear on the edges and the front of the milling cutter. In the paper, the graphs of the wear of milling cutters blades made out of sintered carbids covered with TiN and TiAlCN, as well as without coating are presented.

DR INŻ. MICHAŁ WIECZOROWSKI - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań.

MGR INŻ. ANNA MATUSIAK-SZARANIEC - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań.

PROF. DR INŻ. DR H.C. KAZIMIERZ WIECZOROWSKI - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań.

MGR INŻ. TOMASZ KĘDZIERSKI - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań.

УДК 921/793

А.Ф.ИЛЬЮЩЕНКО, О.В.РОМАН, А.И.ШЕВЦОВ

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ НЕРАВНОВЕСНЫХ АМОРФИЗИРОВАННЫХ СТРУКТУР КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ В СИСТЕМЕ "НАПЫЛЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ - ПОДЛОЖКА"

Выполнены исследованияи показано влияние температурного режима в системе "напыленные частицы - подложка" на формирование элементов неравновесных аморфизированных структур композиционных плазменных покрытий Ni80Cr20+12,5%MoS_2(CaF_2)+55%TiC.
Ключевые слова: *напыленные частицы, подложка, аморфизация.*

Введение. Используемые в настоящее время методы нанесения защитных покрытий и упрочнения рабочих поверхностей деталей машин имеют свои преимущественные области применения. Сложившиеся школы газотермического, детонационного, наплавочного, плазменного и других видов обработки поверхностей с успехом доказывают жизнеспособность таких технологий [1-5]. Плазменное нанесение покрытий на воздухе помимо всего прочего рассматривается в качестве способа формирования аморфных, нанокристаллических, сверхпроводящих, биологически инертных и других специальных металлокерамических, керамических и т.п. композиционных покрытий с высокой когезионной прочностью, твердостью, износостойкостью.
Цель исследований – изучение процессов и разработка научных основ формирования неравновесных структур плазменно-напыленных покрытий.

Для достижения поставленной цели изучено влияние температурного режима в системе "напыленные частицы - подложка" на формирование элементов неравновесных аморфизированных структур композиционных плазменных покрытий NiCr+карбидная фаза. Интерес обусловлен тем, что температурный режим во многом определяет перспективы сверхбыстрого охлаждения жидкофазной частицы на подложке со скоростью 10^5-10^6 град/с, являющейся, как правило, пороговой для эффективной аморфизации покрытий. При этом также проведена активация тепловых полей на подложке, т.е. ускорение охлаждения жидкофазных частиц осуществлялось регулированием толщины наносимого композиционного покрытия с изменением затрудняющего теплоотвод порового пространства. Осуществлялось также дополнительное охлаждение подложки струей сжатого воздуха.

Методика исследования. При обосновании технологических приемов проанализированы возможности увеличения количества соударяющихся с подложкой композиционных частиц порошка в жидкофазном состоянии. К таким возможностям относятся повышение мощности дуги плазмотрона, применение специальной насадки плазмотрона конструкции Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, наложение на плазменный поток с частицами порошка ультразвуковых колебаний от газоструйных стержневых излучателей (рис.1), согласно известным режимам напыления композиций Ni80Cr20+12,5%MoS_2(CaF_2)+55%TiC, оптимизированным по коэффициенту использования распыляемого порошка, 22,5 кВт [6].

Для аморфизации структуры покрытий предусмотрено повышение мощности дуги плазмотрона от 22,5 до 33,75 кВт.

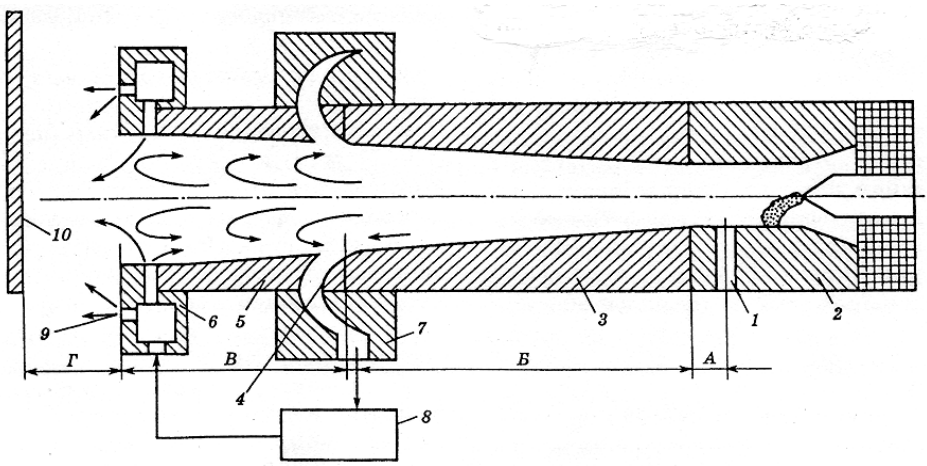


Рис.1. Схема напыления порошка на подложку плазмотроном с насадкой: 1 – ввод порошка; 2 – плазмотрон с соплом №1; 3 – 6 – соответственно сопла №2 - №5 насадки; 7 – холодильник; 8 - компрессор; 9 – возвратный газ; 10 – подложка; А – зона нагрева порошка в плазмотроне; Б – зона нагрева порошка в насадке; В – зона экстрагирования плазменного потока; Г – зона формирования покрытия

Согласно [6] температура плазменного потока на выходе из насадки (при мощности плазмотрона $N_{общ}$=24 кВт и расходе плазмообразующих газов Ar=35 л/мин, N_2=10 л/мин) на длине l=25 мм снижается с 1800 до 330 К. Температура плазменного потока при традиционном способе напыления в воздушной среде на этих же дистанциях снижается до 1300 К. Остаточное тепловое воздействие плазменной струи на подложку не превышает 4% от теплового воздействия напыляемых частиц и в 50 раз меньше теплового потока плазменной струи без применения насадки. Температура внутренних стенок второго сопла достигает 1800 К. В этом случае внутри насадки зона нагрева напыляемых частиц увеличивается до 100 мм, и в результате при одинаковой мощности плазмотрона к.п.д. нагрева частиц повышается в 2 раза.

Перечисленные преимущества плазмотрона с насадкой способствуют возрастанию эффективности нагрева и увеличению количества соударяющихся с подложкой композиционных частиц порошка в жидкофазном состоянии. Одновременно снижается нагрев подложки, что ускоряет теплоотвод и охлаждение на ней жидкофазных частиц. Все это является положительным факторам аморфизации формируемого покрытия.

Что касается регулирования температурного режима путем изменения тепловых полей на подложке, то оно предусмотрено за счет варьирования толщины наносимого композиционного покрытия и дополнительного охлаждения подложки струей сжатого воздуха. Опыт такого охлаждения известен в сварочном производстве.

При варьировании температурного режима в качестве критериев оценки степени аморфизации покрытий приняты возрастание усредненной

микротвердости и уширение линий рентгенограмм [111], [200] нанесенного материала. Правомерность второго критерия объясняется уравнением для определения размера области когерентного рассеяния $D_{эфф}$, характеризующего ближний порядок атомов изучаемого материала [6]. Известно, что переход к аморфизированной структуре происходит по мере уменьшения $D_{эфф}$. В соответствии с указанным уравнением это имеет место при увеличении ширины передних рентгеновских линий [111], [200], фиксирующих разупорядочение структуры.

Режимы плазменного напыления композиционных покрытий с варьированием температурного режима в системе "напыленные частицы - подложка" приведены в таблице.

Распыляемый материал	Режимы напыления					
	Ток дуги плазмотрона, А	Напряжение дуги, В	Расход плазмообразующего газа, л/мин		Расход распыляемого порошка, усл. един.	Дистанция напыления, мм
			аргона	водорода		
Ni80Cr20 + +12,5%$MoS_2(CaF_2)$+ +55%TiC	300 350 400 450	75	50	15	15	120

Экспериментальные цилиндрические образцы длиной 12 мм и диаметром 10 мм получали по следующей технологии:

- одну из торцевых поверхностей стальных образцов подвергали струйно-абразивной обработке зернами электрокорунда (шероховатость подготовленной поверхности должна быть Ra 12,5-25 мкм);

- на подготовленную поверхность плазменным напылением на установке УПУ–3Д наносили покрытия NiCr + 12,5%$MoS_2(CaF_2)$ + 55%TiC. Режимы напыления приведены в таблице.

Исследование влияния нагрева частиц в плазменном потоке на формирование элементов неравновесных аморфизированных структур композиционных плазменных покрытий. Результаты исследований, полученные по разработанной методике, приведены на рис.2. Согласно рис.2,а при повышении мощности дуги плазмотрона до 30,0 кВт происходит практически монотонное увеличение микротвердости напыленных покрытий. Это объясняется более интенсивным прогревом распыляемых частиц в осевой зоне плазменной струи.

Возрастает количество соударяющихся с подложкой композиционных частиц порошка в жидкофазном состоянии. Создаются благоприятные начальные условия для сверхбыстрого охлаждения жидкофазных частиц на подложке с аморфизацией структуры формируемого покрытия и увеличением его микротвердости. Вместе с тем дальнейшее повышение мощности дуги плазмотрона до 33,75 кВт вызывает снижение степени аморфизации и уровня микротвердости покрытия, что, очевидно, связано с возрастающим перегревом и эффектом разбрызгивания соударяющихся с подложкой частиц. В случае разбрызгивания вторичные частицы с пониженной температурой и приближенной формой тел вращения практически не деформируются и затвердевают на подложке при скоростях охлаждения, которые на два порядка меньше, чем при деформации и затвердевании в виде дисков [7-9].

Это вызывает снижение степени аморфизации и уровня микротвердости покрытия. Наряду со снижением степени аморфизации при разбрызгивании возможны потери композиционного материала с нежелательным уменьшением коэффициента использования распыляемого порошка.

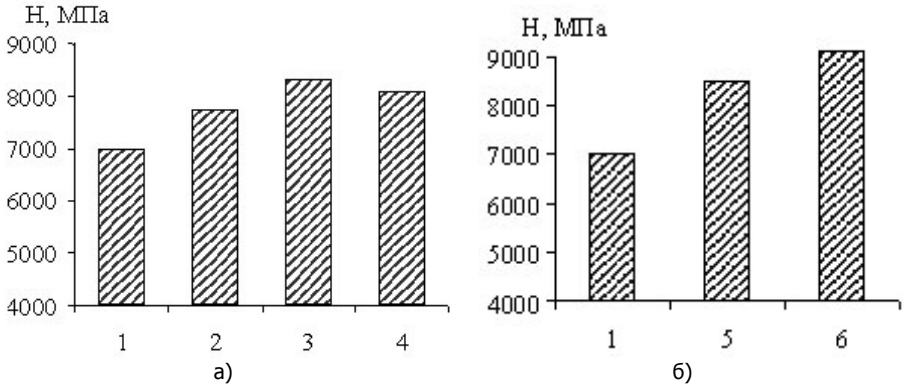


Рис.2. Средние значения микротвердости напыленных покрытий Ni80Cr20+12,5%MoS_2+55%TiC в зависимости от нагрева частиц в плазменном потоке: а – без наложения ультразвука; б – с наложением ультразвука на плазменный поток; 1, 2, 3, 4 – мощности дуги плазмотрона соответственно 22,5; 26,25; 30,00 и 33,75 кВт; 5, 6 – наложение ультразвука при мощностях дуги плазмотрона 26,25 и 30,00 кВт

Анализируя результаты исследования аморфизации при нагреве частиц в плазменном потоке с наложением ультразвука, необходимо отметить следующее. Согласно рис.2,б наложение ультразвука на зону высокотемпературного ядра потока оказывает большее влияние на активизацию процесса аморфизации в сравнении с повышением мощности дуги плазмотрона. Это достигается за счет важного преимущества наложения ультразвука, который позволяет расширить и турбулизировать высокотемпературную плазменную струю с обеспечением более равномерного и улучшенного прогревания основной массы распыляемого композиционного порошка. Уменьшается градиент температуры частиц порошка в поперечном сечении плазменной струи. Увеличивается количество частиц с температурой, обеспечивающей их охлаждение на подложке от жидкофазного состояния, что является условием аморфизации покрытия. Как видно из рис.2,б, при использовании оптимальной мощности дуги плазмотрона с наложением ультразвука достигается максимальный уровень аморфизации покрытия.

Исследование влияния тепловых полей на подложке на аморфизацию композиционных плазменных покрытий. В соответствии с разработанной методикой исследования изменений микротвердости и степени аморфизации напыленного материала проводились при варьировании толщины наносимого композиционного покрытия. Осуществлялось также дополнительное охлаждение подложки струей сжатого воздуха. Результаты исследований представлены на рис.3 (в расчет не принимались замеры микротвердости, соответствующие переходной зоне от покрытия к подложке).

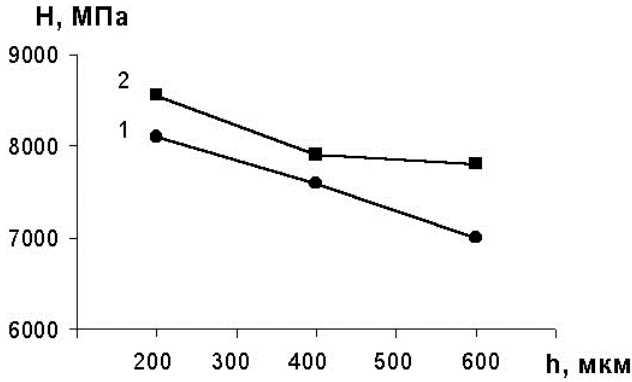


Рис.3. Средние значения микротвердости напыленных покрытий Ni80Cr20+12,5%MoS_2+55%TiC в зависимости от их толщины при мощности дуги плазмотрона 22,5 кВт: 1 – без охлаждения подложки; 2 – с охлаждением подложки струей сжатого воздуха

Как видно из рис.5, при увеличении толщины покрытия уровень его аморфизации уменьшается, что объясняется постепенным возрастанием объема порового пространства наносимой композиции. Затрудняется теплоотвод от жидкофазных частиц в глубь покрытия с уменьшением их скорости охлаждения и возможности аморфизации. Наряду с толщиной покрытия значимым является активизирующее аморфизацию дополнительное воздействие на подложку струей сжатого воздуха. Очевидно, что в данном случае бóльшая доля тепла, поступающая с напыляемыми частицами, рассеивается в окружающее пространство.

Имеет место минимальный нагрев формируемого покрытия и подложки (<325 К), способствующий ускоренному охлаждению частиц. При этом менее критическими для получения аморфной структуры являются увеличение толщины покрытия и снижение коэффициента теплопроводности напыляемого материала (из-за наличия пористости между частицами, формирующими покрытие), а также размеры подложки и ее теплофизические свойства. Это подтверждается экспериментальной кривой 2 на рис.3, для которой характерно меньшее снижение уровня аморфизации при увеличении толщины покрытия в сравнении с зависимостью 1, полученной по результатам экспериментов без охлаждения подложки струей сжатого воздуха. Меньшее снижение уровня аморфизации при увеличении толщины покрытия является важным обстоятельством для нанесения износостойких композиций Ni80Cr20 + 12,5%MoS_2(CaF_2) + 55%TiC. Практика газотермического напыления свидетельствует о том, что толщина износостойких покрытий, как правило, составляет не менее 0,5-0,6 мм.

Практические результаты. С учетом вышеизложенных результатов исследований нанесены плазменные композиционные покрытия Ni80Cr20+ +12,5%MoS_2(CaF_2)+55%TiC, напыленные по оптимизированной технологии, способствующей аморфизации структуры данных композиций. При плазменном напылении по предлагаемой технологии в сравнении с известными режимами имеет место уширение передних линий [111] и [200] рентгенограммы нанесенного материала, что свидетельствует об увеличении степени аморфизации его структуры. Что касается основных фаз покрытия, то наблюдается бóльшее уширение линий TiC в сравнении с Ni, т.е. аморфи-

зация и разупорядочение структуры карбидов титана происходит более активно в сравнении с твердым раствором на основе никеля.

Анализ полученных рентгенограмм показывает хорошее согласование с результатами замеров микротвердости покрытий (см.рис.2, 3). В частности, уширение линий рентгенограммы и аморфизация структуры коррелируют с возрастанием когезионной прочности и микротвердости аморфизированного материала.

Выводы. Разработана методика исследований, согласно которой для регулирования температурного режима изучено влияние нагрева частиц в плазменном потоке и тепловых полей на подложке в системе "напыленные частицы - подложка" с формированием элементов неравновесных аморфизированных структур композиционных плазменных покрытий NiCr + карбидная фаза.

Для эффективного прогревания наряду с наложением ультразвука целесообразно увеличение мощности дуги плазмотрона до 30 кВт. При наложении ультразвука и указанной мощности усредненная микротвердость напыленных покрытий NiCr+карбидная фаза повышается от 7000 МПа (для известных режимов плазменного напыления) до 9100 МПа, что коррелирует с возрастанием когезионной прочности и уровня аморфизации покрытий.

Практика газотермического напыления свидетельствует о том, что толщина износостойких покрытий, как правило, составляет не менее 0,5-0,6 мм. С учетом результатов исследований нанесены плазменные покрытия $Ni80Cr20+12,5\%MoS_2(CaF_2)+55\%TiC$, напыленные по оптимизированной технологии, способствующей аморфизации структуры нанесенных композиций.

Библиографический список

1. *Красниченко Л.В.* Поверхностное упрочнение деталей машин по кривым износа и эпюрам деформации / Л.В.Красниченко, В.А. Шадчинев / РИСХМ. – Ростов-н/Д, 1973. – 97 с.

2. *Дорожкин Н.Н.* Получение порошковых изделий и покрытий из материалов на железной основе / Н.Н.Дорожкин, Г.Г.Горанский, В.Г.Люлько и др. /БелНИИНТИ и ТЭИ Госплана БССР. – Минск, 1990. – 89 с.

3. *Овчинников В.И.* Применение взрывных технологий в упрочнении поверхности и нанесении защитных слоев на конструкционных сталях / В.И.Овчинников, О.В.Роман, Е.А.Дорошкевич и др. // Порошковая металлургия. Вып.30. – Минск, 2007. – С.238-244.

4. *Кудинов В.В.* Нанесение покрытий плазмой / В.В.Кудинов, П.Ю.Пекшев, В.Е.Белащенко и др. – М.: Наука, 1990. – 406 с.

5. Ilyuschenko A.Ph, Shevtsov A.I. et al.. Investigation and optimization of plasma spraying of hard-lubricating wear-resistant coatings // Proc. 3-rd Inter. Conf. "Industrial engineering–new challenges to SME". – Tallinn, 2002. – P. 150-153.

6. *Кудинов В.В.* Анализ распределения скоростей и удельной энтальпии частиц по радиусу пятна напыления при использовании конической насадки / В.В.Кудинов, В.И.Калита, Д.И.Комлев и др. // ФХОМ. – 1992. – №5. – С. 82-85.

7. *Борисов Ю.Я.* Газоструйные излучатели звука и их применение для интенсификации технологических процессов / Ю.Я.Борисов. – М., 1980.

8. *Верещагин М.Н.* Исследование особенностей структурообразования износостойких аморфизированных покрытий самофлюсующихся

сплавов на основе железа / М.Н.Верещагин, Г.Г.Горанский // Трение и износ. – 1997. – Т. 18. – № 6. – С. 827-831.

9. *Чернышова Т.А.* Влияние сверхбыстрой кристаллизации на структуру и свойства мартенситно-стареющих сталей / Т.А.Чернышова, Т.В.Люлькина, В.И.Калита // МИТОМ. – 1988. – №1. – С. 32-39.

Материал поступил в редакцию 11.03.08.

A. ILYUSHCHENKO, O.ROMAN, A. SHEVTSOV

FORMATION OF ELEMENTS OF NONEQUILIBRIUM AMORPHISATED STRUCTURES OF COMPOSITE PLASMA COATINGS IN SYSTEM "SPRAYED PARTICLES- SUBSTRATE"

Researches of influence of a temperature mode in system "sprayed particles - substrate " on formation of elements of nonequilibrium amorphizated structures of composite plasma coatings Ni80Cr20+12,5%MoS_2(CaF_2)+55%TiC are carried out. Increase of microhardness of spayed material was criterion of a amorphization degree. At research of influence of heating of particles various technological techniques of effective warming up as important condition of amorphization are analyzed. Influence on amorphization of thickness of plasma coatings and additional cooling of a substrate by a jet of compressed air are considered.

ИЛЬЮЩЕНКО Александр Федорович (р.1956), директор Белорусского концерна порошковой металлургии НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор. Лауреат Госпремии Белоруссии, кавалер медали Франциска Скарины.
Область научных интересов – материаловедение, новые материалы и плазменные технологии, синтез композиционных материалов, химико-термическая обработка металлов и сплавов с покрытиями.
Изобретатель СССР, автор более 380 научных работ и изобретений, в том числе 10 монографий, 17 авторских свидетельств и 11 патентов.

РОМАН Олег Владиславович (р.1926), доктор технических наук, профессор, академик НАН Белоруссии, один из основателей Белорусского концерна порошковой металлургии НАН.
Известный специалист в области порошковой металлургии, материаловедения, новых материалов и взрывных технологий для синтеза композиционных материалов.
Автор более 400 научных работ, авторских свидетельств и патентов.

Шевцов Александр Иванович (р.1950), заведующий сектором отдела плазменных композиционных покрытий Белорусского концерна порошковой металлургии НАН, кандидат технических наук.
Область научных интересов: порошковая металлургия, композиционные материалы и покрытия, моделирование процессов получения новых материалов.
Автор более 50 опубликованных работ.

УДК 621.762

С.Г. БАРАЙ, Д.Р. ВИОЛЕНТИЙ, К.Н. ЛАПКО

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА СОЗДАНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Представлена концепция создания нанокристаллических ферромагнетиков методами порошковой металлургии. Рассмотрено применение магнитно-мягких аморфных сплавов и низкотемпературных технологических связок для получения полусухим прессованием с последующей термообработкой магнитопроводов с *достаточной механической прочностью и требуемым комплексом электромагнитных свойств.*
Ключевые слова: *порошковая металлургия, ферромагнетики,механосинтез, электромагнитные свойства*

Введение. Проблема снижения энергетических потерь всегда актуальна для изготовителей электрооборудования. Последние десятилетия эту проблему решают с помощью применения магнитно-мягких аморфных металлических сплавов для изготовления элементов электрооборудования, которые, благодаря своим структурным особенностям, имеют огромные перспективы разнообразного технологического применения и целый ряд преимуществ [1-5]:

- низкие удельные потери;
- высокое электрическое сопротивление;
- отличные электромагнитные характеристики в широком диапазоне частот (до 1 Мгц);
- возможность дальнейшей миниатюризации и повышения эффективности электронных устройств;
- снижение искрового тока и подавление шумов;
- экономия электроэнергии.

Аморфные нанокристаллические сплавы по сравнению с традиционными кристаллическими материалами являются сравнительно новым классом магнитных материалов и представляют собой сплавы 75-85 % одного или нескольких переходных металлов (Fe, Co, Ni) и 15-20 % металлоида (B, C, Si, P и др.), часто отвечая формуле $Me_{80}X_{20}$, где Me – один или несколько переходных металлов, а X – один или несколько неметаллов или других аморфообразующих элементов {$Fe_{80}P_{13}C$, $Ni_{80}P_{18}$, $Ni_{80}S_{20}$, $Fe_{81}Si_{3,5}B_{13,5}C_2$, $Co_{66}Fe_4(Mo,Si,B)_{30}$}[6].

Изготовление массивных деталей, таких как магнитопроводы, из аморфных сплавов довольно непростая задача. Существует несколько основных способов, один из которых - формирование изделия из аморфной ленты намоткой под натягом. Этот процесс достаточно сложный и дорогостоящий, он требует сложного специализированного оборудования.

Если рассмотреть вариант изготовления массивных деталей методом прессования из порошков аморфных металлических сплавов, полученных из лент механическим измельчением, то ввиду высокого предела текучести прессуемость таких порошков довольно низкая. Пористость деталей составляет примерно 20-40 %, что существенно снижает целевые свойства

изделий. Вариант горячего прессования не может быть в полной мере использован из-за потери сплавами аморфности при высоких температурах.

Ранее проводились работы по получению изделий ударно-волновым компактированием из аморфных лент и порошков [7-9]. Как известно, во фронте ударной волны твердое вещество ведет себя подобно жидкости, поэтому с помощью метода динамического компактирования представляется возможным добиться существенно большей плотности упаковки частиц порошков аморфных сплавов. Но и этот способ не получил особого развития.

Наименее изученным и практически не опробованным является способ формования магнитопроводов из аморфных порошков путем введения в состав шихты клеевых композиций, твердеющих при температурах ниже температуры кристаллизации материала. Наиболее перспективными для этих целей являются неорганические клеевые композиции, так как они значительно превосходят органические составы по механическим свойствам и технологическим температурам. Из неорганических клеевых композиций фосфатные составы выгодно отличаются от других неорганических составов как по электромагнитным характеристикам, так и по термостойкости, режимам отвердения.

Результаты и их обсуждение. В приведенной работе представлены результаты исследований по разработке концепции получения нанокристаллических ферромагнетиков методами порошковой металлургии. В качестве исходного был выбран аморфный сплав состава $Fe_{73,5}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$, известный под названием FINEMET. Выбор обусловлен экономическими соображениями, с одной стороны, и свойствами материала – с другой. В состав материала входят дешевые порошки, из которых 73,5 % железо, но несмотря на это данный сплав обладает достаточно уникальными свойствами [10]:

- начальная магнитная проницаемость 40000-50000;
- максимальная магнитная проницаемость до 600000;
- магнитная индукция насыщения 1,2-1,3 Тл;
- коэрцитивная сила меньше 2,5 А/м;
- удельное электрическое сопротивление 1,6 мкОм·м.

Нанокристаллические сплавы семейства FINEMET получают в основном методом быстрой закалки из расплава со скоростями ~ 10^6 ^{0}C. Нами исследовался порошковый сплав, полученный методом механосинтеза и механоактивации в лаборатории новых материалов и технологий ИПМ НАНБ. Процесс механоактивации сводится к фундаментальному структурному и морфологическому преобразованию исходной порошковой смеси путем механического воздействия, которое иногда сопровождается и фазовым преобразованием. Технология получения порошка аморфного сплава изображена на рис.1, а принципиальная схема процесса механосинтеза – на рис.2.

Необходимо отметить, что процесс механосинтеза и механоактивации проводят в аттриторе в жидкой среде с использованием металлических шаров. Сушка порошка осуществлялась в сушильном шкафу СНОЛ в течение 8 ч при температуре 110 ^{0}C, в результате было достигнуто содержание влаги не более 3 %.

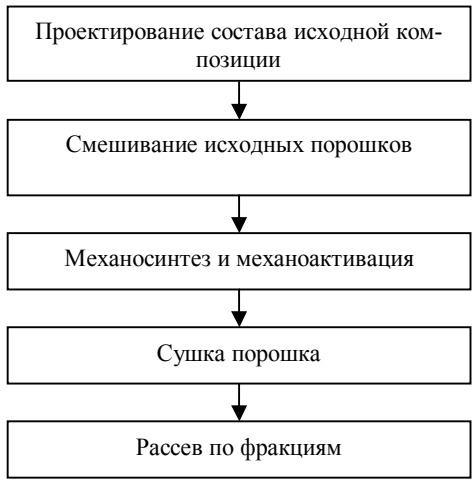


Рис.1. Типовая схема технологического процесса получения порошков методом механосинтеза и механоактивации

Рис.2. Принципиальная схема процесса механосинтеза

На рис.3 приведены результаты определения гранулометрического состава порошка после обработки в аттриторе. Из гистограммы видно, что максимум частиц (31 %) находится в интервале 0,05-0,063 мм, количество частиц порошка с размером менее 0,05 мм составило 21 %.

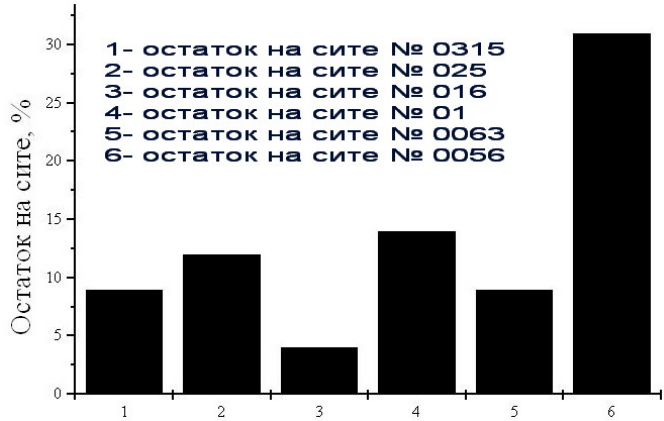


Рис.3. Гистограмма распределения частиц порошка $Fe_{73,5}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$ по размерам после обработки в аттриторе

Полученный порошок был подвергнут рентгенофазовому анализу (рис.4), который показал наличие аморфной фазы в виде матрицы, в которой находятся и кристаллы твердого раствора железа размером ≈ 6 нм.

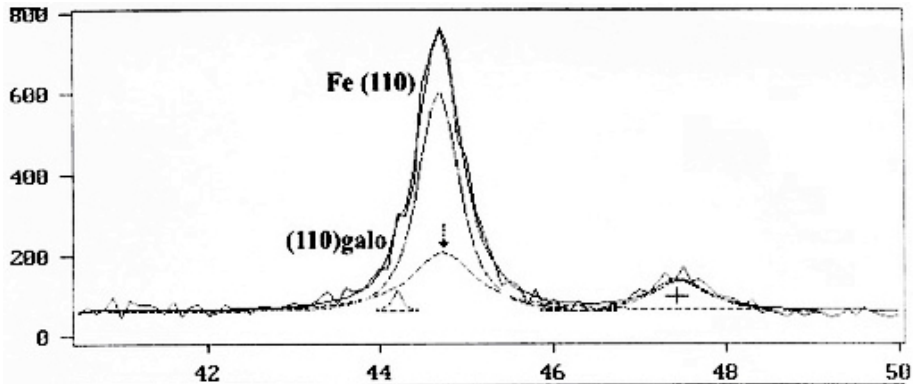


Рис.4. Рентгенограмма порошка $Fe_{73,5}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$, полученного методом механосинтеза

В дальнейшем проводились испытания на взаимодействие порошка и связующих на основе фосфатных и силикатных клеевых композиций. И в первом, и во втором случаях порошок проявил химическую активность к компонентам технологической связки. При введении связующего в порошок наблюдалось химическое взаимодействие, вызывающее вспучивание материала, что явилось несомненным препятствием для придания окончательной формы изделиям. Это вызвало необходимость подбора других клеевых композиций, являющихся инертными по отношению к исходным порошкам. Исходя из этого, в качестве связки выбрали клей на основе эпоксидной смолы. Методом полусухого прессования были изготовлены образцы в виде таблеток диаметром 16 мм и колец с размерами 24×12×6 мм, которые в дальнейшем подвергались обжигу при температурах 50-100 ^{0}C. Термообработанные образцы имели прочность достаточную для изготовления на их основе магнитопроводов и измерения их электромагнитных свойств.

Исследование поведения порошка при нагреве методом комплексного термического анализа (рис.5) показало, что интенсивные процессы окисления начинаются при температуре свыше 100 ^{0}C и сопровождаются значительным увеличением массы образцов за счет образования оксидов железа. Следовательно, температура термообработки готового изделия не должна превышать 100 ^{0}C.

Предварительные электромагнитные испытания экспериментальных образцов в виде колец показали правильность выбранного направления работ.

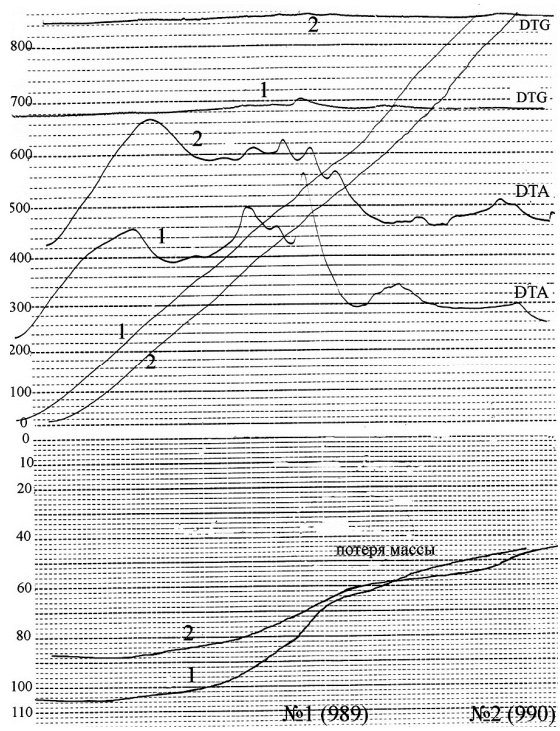


Рис.5. Кривая ДТА порошка $Fe_{73,5}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$, полученного методом механосинтеза

Разработаны методические подходы и исследованы особенности процессов получения порошковых аморфных нанокристаллических ферромагнетиков, определен комплекс характеристик для исследуемых материалов, заготовок, спеченных изделий и магнитопроводов на их основе. Разработана концепция получения нанокристаллического ферромагнетика с аморфной матрицей с учетом прогнозирования его эксплуатационных свойств методами порошковой металлургии, развиваемыми в Республике Беларусь.

Выводы. Выработана концепция и разработана принципиальная технологическая схема получения нанокристаллических ферромагнетиков методами порошковой металлургии с целью создания современных магнитопроводов на основе аморфных нанокристаллических сплавов с управляемым комплексом электромагнитных характеристик.

Основой концепции является получение порошкового аморфного сплава со строго заданным химическим составом методом механосинтеза и механоактивации и последующим полусухим прессованием шихты с технологической связкой на основе эпоксидной смолы, которая в результате термообработки при температурах ниже начала интенсивного окисления железа и образования кристаллической фазы позволяет получать достаточно прочный ферромагнетик с требуемым комплексом электромагнитных свойств.

Работа выполнена в рамках ГКПНИ «Наноматериалы и нанотехнологии», задание 3.12.

Библиографический список

1. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure // Acta Mater. – 2000. – v.48. – № 1. – P.1-29.
2. Synthesis, Functional Properties and Applications of Nanostructures / I.A. Ovid'ko, T. Tsakalakos, A.K. Vasudevan. Eds. - Dordrecht: Kluwer. – 2003. – 242 p.
3. Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications / A.S. Edelstain, R.C. Cammarata. Eds. - Bristol and Philadelphia: Inst. Physics Publ. – 1996. – 206 p.
4. Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology / Ed. H.S.Nalwa. – San Diego: Academic Press. – 1999. – V.1-5.
5. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / Под ред. М.К.Роко, Р.С.Уильямса, П.Аливисатоса. – М.: Мир, 2002. – 292 с.
6. Физическая энциклопедия. / Под ред. А.М.Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1990. – Т.1. – 704 с.
7. *Нестеренко В.Ф.* Возможности ударно–волновых методов получения и компактирования быстрозакаленных материалов / В.Ф.Нестеренко // ФГВ. – 1985. – № 6. – С.85-89.
8. Структура и свойства аморфного порошкового материала после взрывного нагружения / О.В.Роман, А.П.Богданов, Ю.Н.Волошин и др.// Металловедение и термическая обработка металлов. – 1983.–№ 10. – С.57-63.
9. Preparation of bulk amorphous alloys by explosive consolidation and properties of the amorphous bulk M. Takagi, Y. Kawamura, M. Araki et al. // Mater. Sci. and Eng. – 1988. – № 98. – P.457-460.
10. *Гуртовцев А.* Измерительные трансформаторы тока на 0,4 кВ. Испытания, выбор, применение / А.Гуртовцев, В.Бордаев, В.Чижонок // Новости электротехники. – 2004. – № 2 (26). – С. 1-8.

Материал поступил в редакцию 04.03.08.

S.G. BARAJ, D.R. VIOLENTIJ, K.N. LAPKO

DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF CREATION OF NANOCRYSTALLINE FERROMAGNETIC BY A METHOD OF POWDER METALLURGY

In article the concept of creation of nanocrystalline ferromagnetic by methods of the powder metallurgy, based on use of mecahnosynthesis for reception of a powder of an amorphous alloy $Fe_{73,5}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$ and low-temperature technological binders for reception by dry pressing with the subsequent heat treatment magnetic cores with sufficient mechanical durability and a demanded complex of electromagnetic properties is presented.

БАРАЙ Сергей Георгиевич, заведующий научно-исследовательским отделом керамических материалов Института порошковой металлургии НАН Беларуси, кандидат технических наук.
Область научных интересов: разработка конструкционных, инструментальных, электротехнических, теплоизоляционных видов керамики.
Автор более чем 100 научных публикаций.

УДК 62-82:621.98

В.И. МИРНЫЙ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ПЕРФОРАЦИОННОГО ПРЕССА ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

В работе рассмотрены вопросы повышения производительности гидропривода пресса за счет изменения его конструктивных и функциональных параметров.
***Ключевые слова**: пресс, гидропривод, быстродействие, гидропневмоаккумулятор, гидромеханические упоры.*

Введение. Гидравлический привод давно и весьма успешно используется в кузнечно-штамповочном производстве. Широкое распространение получил он и в гидравлических прессах. Имея ряд преимуществ по сравнению с прессами с механическим приводом, гидропривод имеет сравнительно низкое быстродействие, поэтому на производстве, если требуется быстродействие 400 и более рабочих ходов в минуту при холодной листовой штамповке, предпочтение зачастую отдается механическим прессам.

Постановка задачи. Нами была поставлена задача повысить быстродействие гидравлических прессов до уровня механических прессов.

Метод решения. В качестве пресса-прототипа была взята модель гидравлического перфорационного пресса циклического действия «Модель ППГ 160.00.001.» (рис.1). Номинальное усилие пресса 1600 кН (160т.с.), частота ходов ползуна до 70 рабочих ходов в минуту.

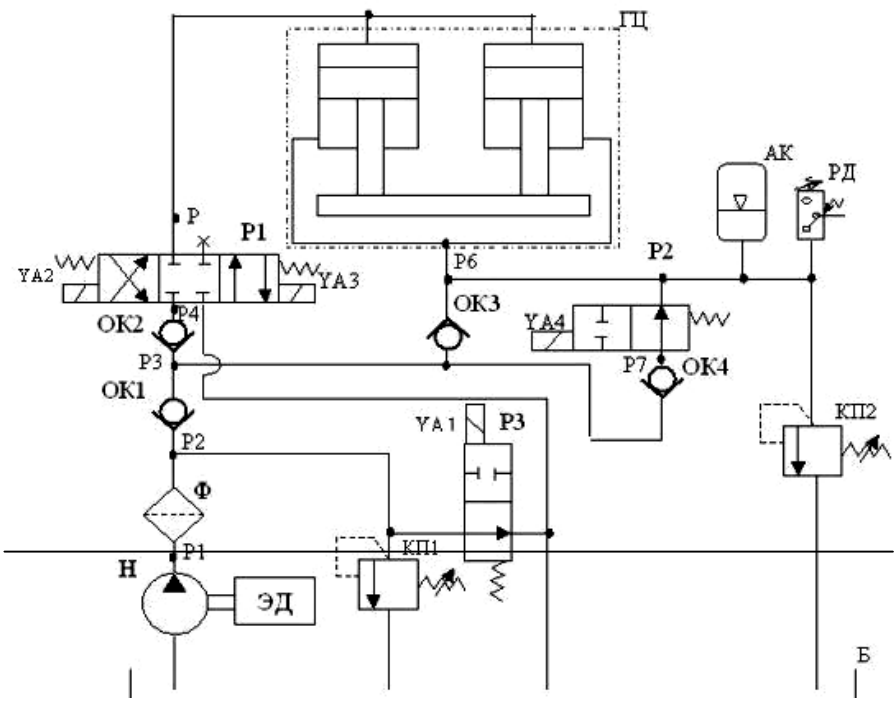


Рис. 1. Принципиальная гидравлическая схема перфорационного пресса усилием 1600 кН

Пресс-прототип работает следующим образом. При первом включении после длительного останова запускается электродвигатель ЭД. Затем подается питание на электромагниты YA1 и YA2, что способствует заполнению рабочей жидкостью гидроаккумулятора АК, одновременно рабочая жидкость поступает в штоковые полости гидроцилиндров ГЦ, переводя их поршни в рабочее (верхнее) положение, после чего питание с электромагнитов YA1 и YA2 можно снять.

Для совершения ползуном рабочего хода (вниз) питание подается на обмотки электромагнитов YA1, YA3, YA4. Поршни гидроцилиндров ГЦ перемещаются вниз, при этом в их поршневые полости подается рабочая жидкость от гидронасоса Н, от гидроаккумулятора АК и из штоковых полостей самих гидроцилиндров ГЦ, включенных по дифференциальной схеме – осуществляется быстрый подвод инструмента, установленного на ползуне, к обрабатываемой заготовке.

При упоре инструмента в обрабатываемую (вырубаемую или пробиваемую) деталь давление в системе повышается, обратный клапан ОК3 закрывается, и пробивание осуществляется только за счет подачи гидронасоса Н, при этом вытесняемая из штоковых полостей гидроцилиндров ГЦ рабочая жидкость поступает в гидроаккумулятор АК, поднимая в нем давление.

После выхода инструмента из пробиваемой детали, снимается питание с электромагнитов YA3 и YA4 и подается питание на электромагнит YA2. В этом положении распределителей Р1 и Р2 осуществляется обратный ход ползуна – подъем в верхнее положение. После подъёма ползуна на заданную высоту снимается питание с электромагнита YA2, поршни гидроцилиндров ГЦ вместе с ползуном и закреплённым на нём инструментом останавливаются в верхнем положении на время, необходимое для перемещения обрабатываемой заготовки, после чего цикл повторяется.

В рассматриваемом гидравлическом приводе клапан КП1 служит для защиты от перегрузки гидронасоса Н, а клапан КП2 служит для защиты от перезарядки гидропневмоаккумулятора АК, реле давления РД останавливает работу системы при падении давления в цепи гидропневмоаккумулятора АК ниже допустимого уровня.

Анализ работы исходной схемы пресса циклического действия «МОДЕЛЬ ППГ 160.00.001». Для данной модели была разработана математическая модель [1] и специальная программа её численного решения. Результаты расчёта исходной схемы пресса приведены на рис.2-7. Как следует из рисунков, собственно циклическая его работа начинается с третьей секунды после запуска пресса в работу, что объясняется необходимостью перевода гидромеханической системы пресса в рабочее состояние – зарядкой гидропневмоаккумулятора, установкой ползуна в исходное положение и т.д. Расчёт проводился для максимально возможной толщины прорубаемой заготовки, равной 10мм. В этом случае касание пуансоном заготовки происходит при его перемещении, равном 20 мм, а выход с другой стороны заготовки при ходе, равном 30 мм.

На рис.2 приведены график изменения во времени перемещения пуансона в процессе пробивания заготовки и график изменения давления в поршневых полостях гидроцилиндров. Анализ кривых показывает, что до момента касания пуансоном заготовки давление в поршневых полостях гидроцилиндров имеет незначительную величину, необходимую для при-

дания ползуну ускорения и преодоления противодавления со стороны штоковых полостях гидроцилиндров ГЦ, которое вызвано тем, что рабочая жидкость вытесняется в гидропневмоаккумулятор, в котором рабочая жидкость постоянно находится под давлением, величина которого определяется его предварительной зарядкой и количеством рабочей жидкости, поступившей в гидропневмоаккумулятор в процессе функционирования пресса-прототипа.

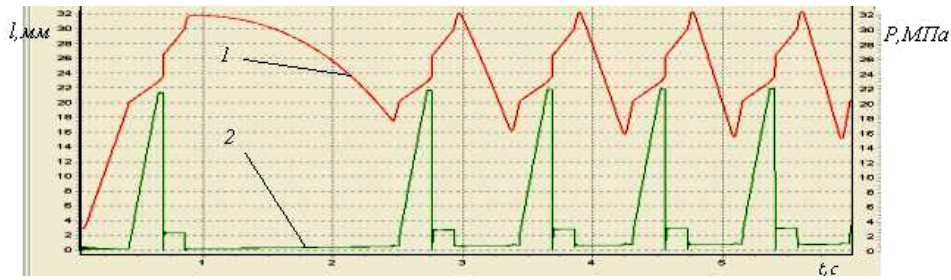


Рис.2. Графики изменения во времени *t* перемещения пуансона (1) и давления *P* в поршневой полости гидроцилиндра (2) в процессе прорубания заготовки

С момента соприкосновения инструмента с поверхностью пробиваемой заготовки давление в рабочей полости гидроцилиндров начинает расти в соответствии с ростом величины реакции со стороны заготовки, действующей на движущийся пуансон (см.рис.2). Рост этот продолжается до достижения давления некоторого максимального значения, при котором начинается разрушение целостности структуры заготовки (скол). Далее, через короткое время после прохождения пуансоном некоторого расстояния происходит полное разрушение заготовки – её пробивание. При этом сила противодействия со стороны заготовки перемещению пуансона практически прекращается, что вызывает его значительное ускорение за счёт расширения сжатой в поршневых полостях гидроцилиндров рабочей жидкости, а следовательно, и значительное увеличение скорости его движения. Затем вновь возникает противодействующая сила, вызванная необходимостью проталкивания отходов сквозь матрицу, которую можно считать постоянной. Этому процессу соответствует определённое, незначительное по величине и постоянное во времени давление (см.рис.2).

Обращает на себя внимание тот факт, что в момент срыва отхода давление в поршневой полости гидроцилиндров падает до нуля. Это весьма нежелательное явление, так как оно приводит к кавитации и как следствие к появлению в рабочем объёме гидравлической системы свободных (нерастворённых) газов, что чрезвычайно вредно для работы гидравлических приводов, особенно приводов со значительными скоростями движения выходных звеньев.

На рис.3 показаны графики изменения в процессе рабочего цикла давлений на выходе гидронасоса (кривая 1), в поршневых полостях гидроцилиндров (кривая 2) и в гидропневмоаккумуляторе (кривая 3). Анализ кривых показывает, что рабочее давление гидроцилиндров повышается по мере роста давления в рабочей полости гидропневмоаккумулятора, так как это давление противодействует рабочему перемещению ползуна, а следовательно, снижает эффективность работы пресса-прототипа.

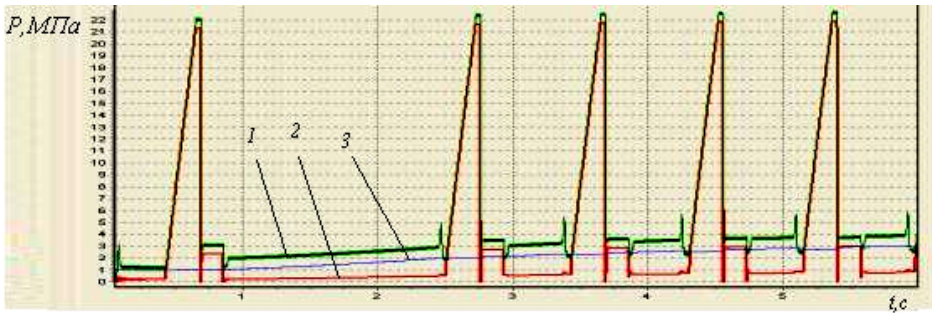


Рис.3. Графики изменения во времени *t* давлений на выходе гидронасоса (1), в поршневой полости гидроцилиндра (2) и в гидроаккумуляторе (3) в процессе пробивания заготовки

Анализ возможных путей повышения производительности исходной схемы пресса-прототипа «МОДЕЛЬ ППГ 160.00.001». Теоретический анализ работы пресса-прототипа указывает на то, что его работа стабилизируется на 5-6-й секунде после начала работы, поэтому анализ поисков путей повышения его производительности будем осуществлять с использованием графиков, представленных на рис.4-7, которые соответствуют работе пресса в интервале времени между 5-й и 10-й секундами.

Рис.4. Графики изменения во времени *t* среднециклового КПД (%) исходной схемы пресса при различных значениях рабочего объёма насоса (см^3): 1 – $q_н$ = 50; 2 – $q_н$ = 100; 3 – $q_н$ = 150; 4 – $q_н$ = 200

Прежде всего обратим внимание на то обстоятельство, что гидропривод пресса-прототипа использует насосно-аккумуляторный источник питания. Однако первичным источником энергии и расхода рабочей жидкости в нём является гидронасос. Следовательно, повышение производительности пресса, которое неизбежно приведёт к повышению потребной мощности гидросистемы и расхода рабочей жидкости в ней, возможно только за счёт повышения производительности гидронасоса.

В соответствии с этой предпосылкой произведены расчёты работы пресса с гидронасосами, имеющими различные рабочие объёмы (рис.4,5). Результаты показали, что действительно при изменении рабочего объёма, используемого в исходной схеме пресса гидронасоса (50, 100, 150 и 200 см^3) частота его срабатывания увеличивается с 72 до 112, 127 и 137 ударов в минуту соответственно (рис.5). Однако при этом значительно уменьшается

коэффициент полезного действия пресса с 49% до 26%, 21% и 16% соответственно.

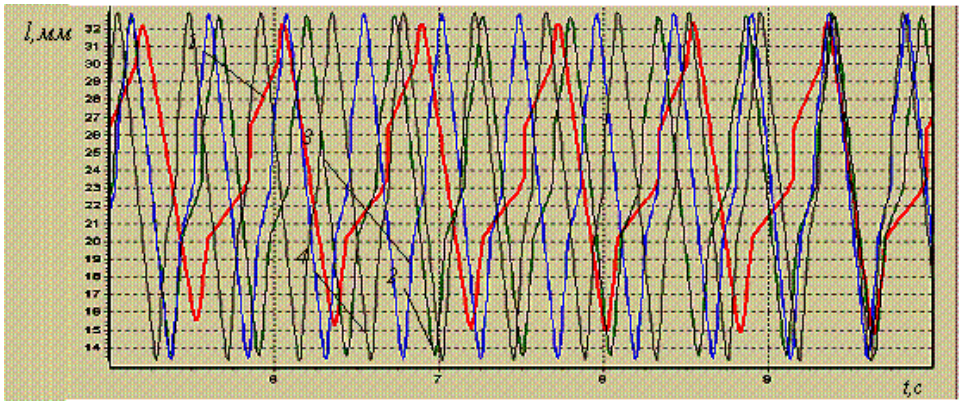


Рис.5. Графики изменения во времени t перемещения пуансона l исходной схемы пресса при различных значениях рабочего объёма насоса (см^3): 1 – $q_н$ = 50; 2 – $q_н$ = 100; 3 – $q_н$ = 150; 4 – $q_н$ = 200

Указанное снижение коэффициента полезного действия пресса-прототипа при использовании гидронасосов повышенной производительности объясняется тем, что в этом случае неизбежно повышается рабочее давление гидропневмоаккумулятора, но при этом срабатывает предохранительный клапан, который в используемой схеме настроен на сравнительно низкое давление (4 МПа). В результате часть рабочей жидкости вместе с сообщённой ей от гидронасоса энергией сбрасывается в гидробак.

Сброс рабочей жидкости через предохранительный клапан КП2 можно ограничить, повысив давление его настройки, что и было учтено при дальнейших расчётах (рис.6,7). Анализ работы гидропресса, оснащённого гидронасосом с рабочим объёмом, равным 150 см^3, производился при давлениях настройки предохранительного клапана КП2 равным 4 МПа (исходный вариант), а также при давлениях его настройки 8 и 12 МПа.

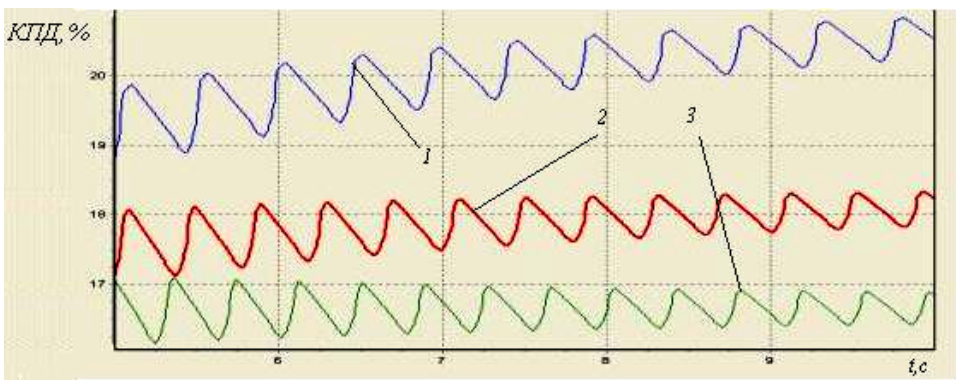


Рис. 6. Графики изменения во времени t среднециклового КПД (%) исходной схемы пресса с рабочим объёмом гидронасоса $q_н$ = 150 см^3 при различных значениях величины настройки предохранительного клапана КП2: 1 – $p_{КП2max}$ = 4 МПа; 2 – $p_{КП2max}$ = 8 МПа; 3 – $p_{КП2max}$ = 12 МПа

Анализ результатов дополнительных расчётов показал, что действительно потеря рабочей жидкости при этом уменьшается. В результате частота срабатывания пресса-прототипа повышается с 127 до 148 и 157 ударов в минуту соответственно (рис.7). Но при этом его коэффициент полезного действия уменьшается с 21% до 18% и 16% соответственно (см.рис.6).

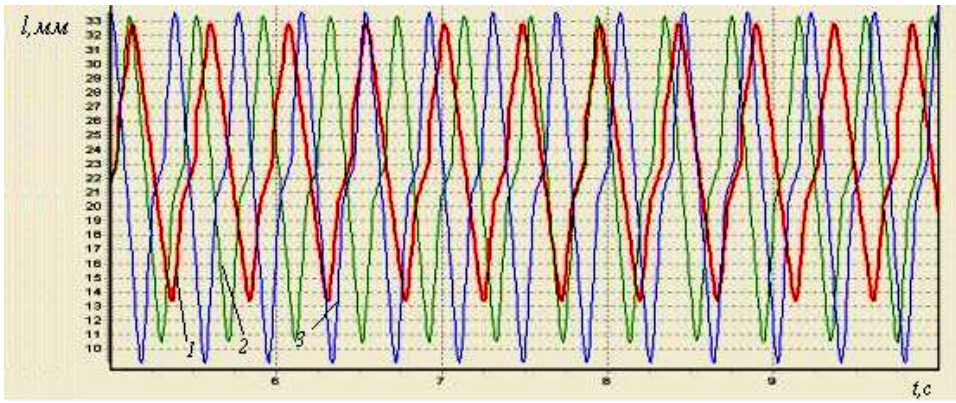


Рис.7. Графики изменения во времени *t* перемещения пуансона *l* исходной схемы пресса с рабочим объёмом гидронасоса $q_н$ = 150 см^3 при различных значениях величины настройки предохранительного клапана КП2: 1 – $p_{КП2max}$ = 4 МПа; 2 – $p_{КП2max}$ = 8 МПа; 3 – $p_{КП2max}$ = 12 МПа

Таким образом, произведённый теоретический анализ работы пресса-прототипа циклического действия показал, что повышение его производительности технически возможно, но экономически не оправданно. Это означает, что для повышения производительности пресса циклического действия необходимо принципиально изменить его гидравлическую схему.

Модернизированная гидравлическая схема пресс-молота. Нами предлагается оригинальная конструкция гидравлического пресс-молота, использующего два независимых аккумуляторных источника питания и ограничителями хода в виде комбинированных гидромеханических упоров. Теоретические исследования показали, что его быстродействие можно довести до 400-500 ударов в минуту без снижения усилия прессования, что соответствует быстродействию современных перфорационных прессов с механическими приводами.

Принципиальная гидравлическая схема предлагаемого пресс-молота приведена на рис.8.

Его работа осуществляется следующим образом. При первом включении ползун пресс-молота с установленным на нём инструментом (пуансоном), жёстко связанный со штоками гидроцилиндров ГЦ, находится в нижнем положении. Электромагниты всех гидрораспределителей обесточены.

Для запуска пресс-молота в работу включается электродвигатель ЭД, вращающий вал гидронасоса Н. Затем подаётся питание на электромагнит YA3 гидрораспределителя Р3, который закрывается, прекращая разгрузку гидронасоса Н и тем самым переводит гидросистему пресса в рабочее состояние. В этом случае осуществляется зарядка гидроаккумуляторов АК1, АК2 и производится подъём ползуна в верхнее положение. При достижении давления рабочей жидкости на входе гидроаккумулятора АК2 ми-

нимально допустимой величины управляющий микропроцессор даёт команду на закрытие гидрораспределителя Р2 (подаётся питание на электромагнит YA2), который прерывает подачу рабочей жидкости от гидронасоса на вход гидроаккумулятора АК2 и гидроцилиндров ГЦ. Зарядка гидроаккумулятора АК1 осуществляется до максимально допустимого рабочего давления системы (до срабатывания предохранительного клапана КП1). После этого питание со всех электромагнитов гидрораспределителей снимается: гидросистема пресс-молота приведена в рабочее состояние, гидронасос разгружен.

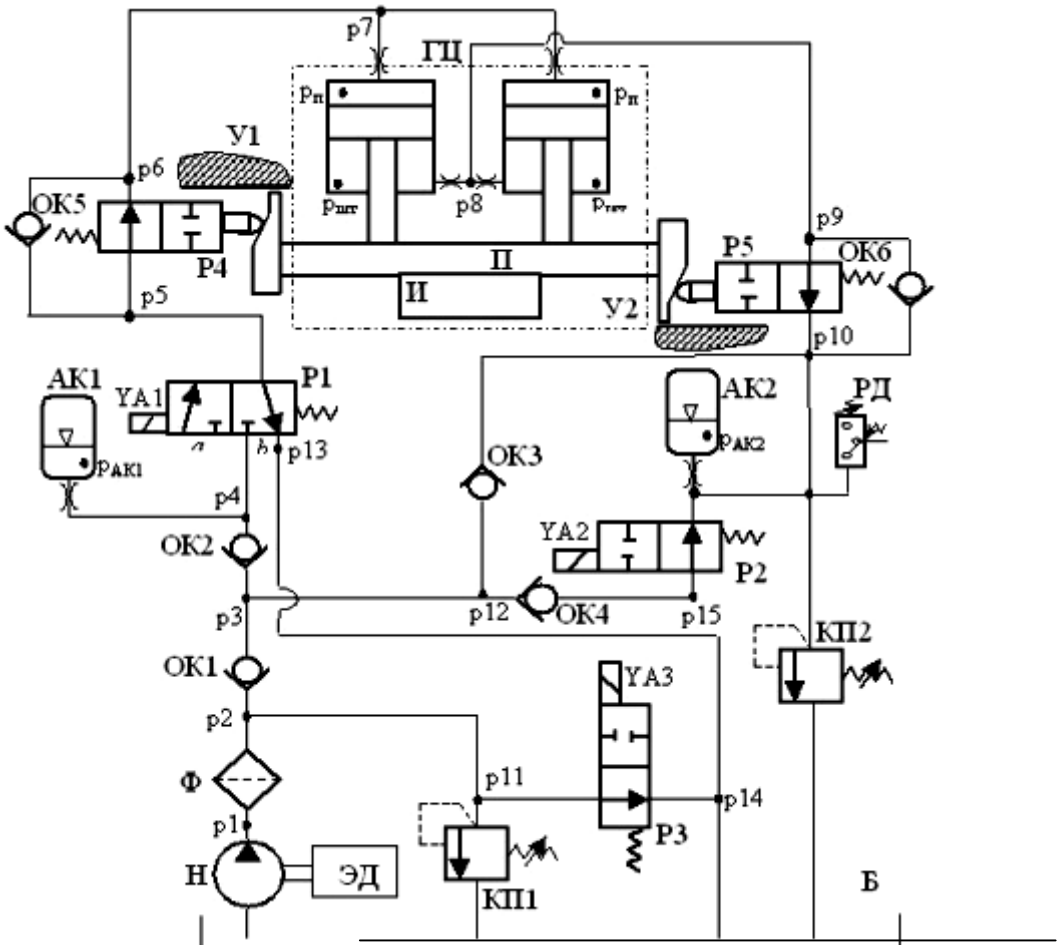


Рис.8. Принципиальная гидравлическая схема перфорационного пресс-молота с комбинированными ограничителями хода ползуна

Для совершения рабочего хода от микропроцессора подается управляющий сигнал на включение электромагнитов: YA3 гидрораспределителя Р3, YA2 гидрораспределителя Р2 и YA1 гидрораспределителя Р1. При этом гидрораспределитель Р2 закрывает проход рабочей жидкости от выхода обратного клапана ОК4 к входам гидроаккумулятора АК2, предохранительного клапана КП2 и штоковых полостей гидроцилиндров ГЦ. Гидрораспределитель Р1 соединяет выход гидроаккумулятора АК1 с поршне-

выми полостями гидроцилиндров ГЦ, вызывая перемещение ползуна П вниз. При этом рабочая жидкость, подаваемая в гидросистему насосом Н через обратные клапаны ОК1 и ОК2, поступает на вход гидрораспределителя Р1, где смешивается с рабочей жидкостью, поступающей туда от гидроаккумулятора АК1 и, объединённый поток через гидрораспределитель Р1 и обратный клапан ОК5 направляется в поршневые полости гидроцилиндров ГЦ, осуществляя быстрый подвод инструмента, закреплённого на ползуне, к обрабатываемой заготовке. При движении траверсы вниз упор У1 сходит с толкателя гидрораспределителя Р4, переводя его в открытое состояние. Рабочая жидкость, вытесняемая из штоковых полостей гидроцилиндров ГЦ через открытый гидрораспределитель Р5, поступает на вход гидроаккумулятора АК2, осуществляя его дозарядку.

При ударе инструмента (пуансона) о заготовку скорость его движения несколько замедляется, но так как давление зарядки гидроаккумулятора АК1 достаточно высоко, то она остаётся значительной за счёт объединённого потока рабочей жидкости от насоса Н, гидроаккумулятора АК1 и инерции подвижных масс (ползуна, пуансон и др.).

После выхода пуансона из матрицы упор У2 прикрывает гидрораспределитель Р5, осуществляя торможение ползуна П, который достигнув нижнего упора, полностью останавливается. В этот момент подаётся команда на снятие питания с электромагнита YA1 гидрораспределителя Р1, что приводит к соединению поршневых полостей гидроцилиндров ГЦ со сливной магистралью, одновременно рабочая жидкость под действием давления заряженного гидроаккумулятора АК2 через обратный клапан ОК6 подаётся в штоковые полости гидроцилиндров ГЦ, заставляя их вместе с ползуном перемещаться вверх. Рабочая жидкость, вытесняемая из поршневых полостей гидроцилиндров ГЦ через открытый гидрораспределитель Р4 и гидрораспределитель Р1, поступает в гидробак Б. При выходе пуансона из пробитой заготовки упор У1 прикрывает гидрораспределитель Р4, осуществляя торможение ползуна, который достигнув верхнего упора полностью останавливается. Отметим, что по мере движения ползуна вверх, упор У2 сходит с толкателя гидрораспределителя Р5, переводя его в открытое состояние.

При выходе пуансона из обрабатываемой заготовки и его остановки подаётся команда на перестановку заготовки – цикл работы пресс-молота завершился.

После перестановки заготовки в новое рабочее положение, подаётся питание на электромагнит YA1 гидрораспределителя Р1 – рабочий цикл повторяется.

Следует отметить, что в предлагаемой схеме гидроаккумулятор АК2 работает с постоянным объёмом рабочей жидкости, а дозарядка гидроаккумулятора АК1 осуществляется как во время перестановки заготовки, так и при обратном движении траверсы, что значительно уменьшает потери рабочей жидкости и позволяет повысить производительность пресс-молота при использовании гидронасоса с меньшим рабочим объёмом. Обратный клапан ОК3 используется в настоящей схеме при необходимости обеспечения работы пресс-молота в режиме, с которым работал его прототип пресс «МОДЕЛЬ ППГ 160.00.001», гидроаккумулятор АК1 в этом случае блокируется.

Теоретические исследования влияния конструктивных параметров на качество работы пресс-молота. С целью выявления влияния различных конструктивных параметров на качество работы перфорационного пресс-молота модернизированной конструкции была разработана специальная программа решения его математической модели [2]. Для выявления эффекта от введения в схему перфорационного пресс-молота дополнительного гидропневмоаккумулятора нами произведён расчёт работы модернизированной схемы пресс-молота, конструктивные параметры которого полностью совпадают с конструктивными параметрами пресса-прототипа (рис.9). Из рисунка видно, что быстродействие пресс-молота, оснащённого вторым гидропневмоаккумулятором и гидронасосом с рабочим объёмом, равным 100 см^3, составляет более 211,0 ударов в минуту при среднецикловом КПД около 20,0%. В то время, как для пресса – прототипа, оснащённого одним гидропневмоаккумулятором, аналогичные показатели составляют 112,0 ударов в минуту при среднецикловом КПД 26,0%.

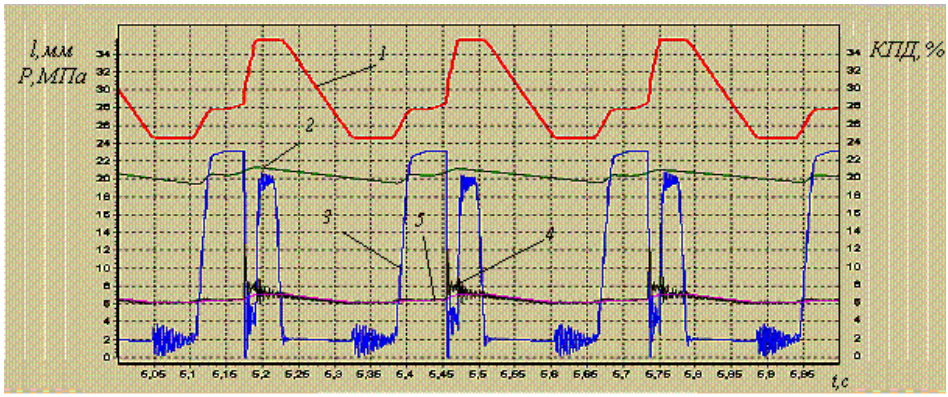


Рис.9. Графики изменения во времени t функциональных параметров пресс-молота с двумя гидропневмоаккумуляторами и гидромеханическими упорами (рабочий объём гидронасоса $q_н$ = 100 см^3): 1 – перемещение пуансона, мм; 2 – среднецикловой КПД процесса, %; 3 – давление в поршневых полостях гидроцилиндров ГЦ, МПа; 4 – давление в штоковых полостях гидроцилиндров ГЦ, МПа; 5 – давление в рабочей камере гидропневмоаккумулятора АК2, МПа

Таким образом, пресс-молот, оснащённый двумя гидропневмоаккумуляторами в сочетании с комбинированными гидромеханическими упорами улучшает пресс-прототип по быстродействию на 92% при снижении среднецикового КПД на 5,5%.

Результаты теоретического исследования влияния конструктивных и функциональных параметров на качество работы модернизированного пресс-молота с гидромеханическими упорами.С целью выявления влияния различных конструктивных и функциональных параметров на его основные показатели в качестве базового принят процесс пробивки стального листа толщиной S = 0.01м, который создаёт максимальное усилие сопротивления перемещению ползуна в процессе пробивки F_{max} = 1600 кН (рис.10).

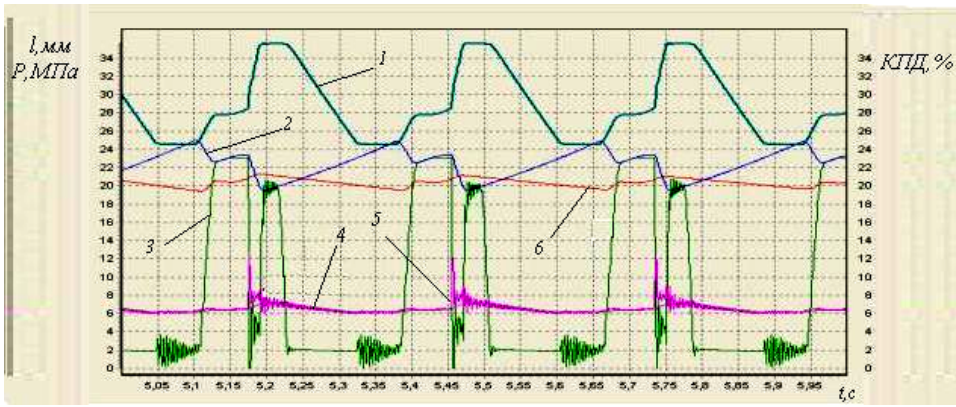


Рис.10. Графики изменения во времени *t* функциональных параметров базовой конструкции пресс-молота с двумя гидроаккумуляторами во время рабочего цикла: 1 – перемещение пуансона, мм; 2 – давление на входе гидроаккумулятора АК1, МПа; 3 – давление в поршневых полостях гидроцилиндров ГЦ, МПа; 4 – давление в штоковых полостях гидроцилиндров ГЦ, МПа; 5 – давление на входе гидроаккумулятора АК2, МПа; 6 – среднецикловой КПД процесса

Базовый пресс имеет следующие значения варьируемых конструктивных параметров:

рабочий объём гидронасоса..... $q_н = 100 \cdot 10^{-6}$ м^3;
полный ход штоков гидроцилиндров..... $L_п = 0{,}04$ м;
полная масса подвижных частей пресс-молота,
приведённая к штокам гидроцилиндров..... $M = 1000$ кг;
рабочие объёмы обоих
гидропневмоаккумуляторов ..... $W0_1 = W0_2 = 6{,}3\ 10^{-3}$ м^3;
начальное давление зарядки
гидропневмоаккумулятора АК1 ..... $p_{0ак1} = 8$ МПа;
минимально допустимое рабочее давление
гидропневмоаккумулятора АК2..... $p_{АК2min} = 6$ МПа.

Сравнительный анализ полученных результатов свидетельствует о том, что за счёт рационального подбора численных значений различных конструктивных и функциональных параметров производительность пресс-молота базовой конструкции, оснащённого вторым гидропневмоаккумулятором, повышается более чем на 81%, а по сравнению с прессом-прототипом, оснащённым одним гидропневмоаккумулятором (исходный пресс), производительность повышается почти в 3,5 раза.

Большое значение в обеспечении качественной работы быстродействующего гидрофицированного перфорационного пресс-молота имеют параметры настройки его цикла (первоначальное положение заготовки, координаты установки гидравлического и механического упоров, момент включения реверса пуансона).

Рационализация параметров пресс-молота, оснащённого двумя гидропневмоаккумуляторами в сочетании с гидромеханическими упорами, повышает его быстродействие до 490 ударов в минуту (рис.11), что соответствует увеличению в 2.28 раза по сравнению с базовым пресс-молотом до изменения его параметров и в 4,38 раза по сравнению с прессом-прототипом до изменения его конструкции.

Следует обратить внимание на резкое возрастание давления в поршневых полостях гидроцилиндров, которое объясняется ускорением движения поршней в момент скола металла заготовки.

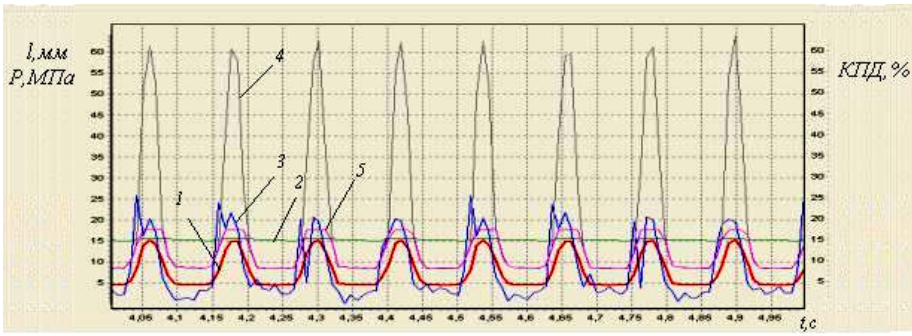


Рис.11. Графики изменения во времени *t* функциональных параметров пресса с двумя гидропневмоаккумуляторами и гидромеханическими упорами (рабочий объём гидронасоса $q_н$ = 100 см^3): 1 – перемещение пуансона, мм; 2 – среднецикловой КПД процесса, %; 3 – давление в поршневых полостях гидроцилиндров ГЦ, МПа; 4 – давление в штоковых полостях гидроцилиндров ГЦ, МПа; 5 – давление рабочей жидкости в гидропневмоаккумуляторе АК2, МПа.

Выводы. За счёт рационального подбора конструктивных и функциональных параметров гидравлического привода пресс-молота, оснащённого гидромеханическими упорами, его быстродействие повышается по сравнению с прессом-прототипом в 4,4 раза, и быстродействие достигает 490 рабочих ходов в минуту, что соответствует уровню производительности прессов с механическим приводом.

Библиографический список

1. *Рыбак А.Т.* Математическая модель гидравлического привода пресса циклического действия / А.Т.Рыбак // Управление. Конкурентоспособность. Автоматизация / под общ. ред. И.В. Богуславского: сб. науч. трудов. Вып. 3. – Ростов н/Д: Издательский дом «ИУИ АП», 2003. – С. 27 – 34.

2. *Жаров В.П.* Моделирование динамики гидравлического пресс-молота повышенного быстродействия / В.П.Жаров, А.Т.Рыбак, В.И.Мирный // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2007. – №7. – С. 32-36.

Материал поступил в редакцию 12.03.08.

V.I. MIRNY

SEVERAL ISSUES OF PRODUCTIVITY INCREASE AND ECONOMIC EFFECTIVENESS OF HYDRAULIC PERFORATED HAMMER OF CYCLING CAPACITY

The work covers the issues of productivity increase and economic effectiveness of hydraulic circuit hammer through changes of constructive and functional parameters.

МИРНЫЙ Виктор Игнатьевич (р. 1947), заведующий лабораторией кафедры «Управление качеством» ДГТУ. Окончил факультет руководящего инженерного состава Военной академии бронетанковых войск (1982).
Научные интересы: гидропривод кузнечно-штамповочных машин.
Автор 7 научных публикаций.

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 539.3

К.В. РОЩИН

УСТАЛОСТНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ВЫВОДОВ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОЙ И СЛУЧАЙНОЙ ВИБРАЦИИ

Использование известных гипотез при расчете выводов радиоэлементов (РЭ) на усталость при воздействии случайной вибрации встречает большие сложности. Разработанные расчетные модели легли в основу автоматизированной подсистемы анализа и обеспечения времени до усталостного разрушения пластинчатых и стержневых элементов конструкций блоков кассетного типа и блоков этажерочного типа бортовой радиоэлектронной аппаратуры при вибрационных воздействиях и использованы для оценки времени до усталостного разрушения выводов РЭ.
Ключевые слова: *выводы радиоэлементов, усталостное разрушение, гармоническая, случайная вибрация, колебания, напряжения, накопление повреждений.*

Введение. Время до усталостного разрушения выводов радиоэлементов при гармонической вибрации определяется по формуле [1]:

$$t_p = \frac{N_p}{f}, \qquad (1)$$

где N_p – число циклов напряжений до разрушения; f – текущая частота колебаний.

Число циклов до усталостного разрушения при гармонической вибрации рассчитывается по формуле [3]:

$$N_p = N_B \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{\max}} \right)^m, \qquad (2)$$

где σ_0 – предел усталости материала вывода; m – параметр, зависящий от материала, размеров и формы вывода; N_B – базовое число циклов; $\sigma_{\max}$ – максимальное механическое напряжение в выводе РЭ.

Параметр m характеризует угол наклона кривой усталости. На рис.1 приведены полученные экспериментально кривые усталости материала, так называемые кривые Веллера [4–6]. Они выражают зависимость амплитуды напряжения в симметричном цикле от числа N_B циклов до разрушения. Кривая 1 характерна для сталей малой и средней прочности, а также для титановых сплавов при испытании без воздействия коррозии и при нормальной температуре, кривая 2 – для цветных металлов и высокопрочных легированных сталей. Кривая 1 имеет резкий перелом при числе циклов $N_p \approx 10^6$, после чего она идет практически параллельно оси абс-

цисс, поэтому за базу испытаний для таких материалов принимают $N_B = 10^7$. Физически это означает, что если амплитуда σ переменного напряжения будет меньше напряжения σ_0, соответствующего точке перелома, то усталостное разрушение не наступает при неограниченном числе циклов. Это напряжение σ_0 и получило название предела усталости материала при симметричном цикле. Некоторые материалы, в частности цветные металлы, многокомпонентные сплавы, не имеют выраженного предела усталости: с увеличением числа циклов N_p прочность продолжает падать (см.рис.1, кривая 2). Для таких материалов сопротивление усталости характеризуют пределом ограниченной выносливости при заданной базе (числе циклов) N_B, которая обычно принимается равной $5 \cdot 10^7$ циклам. Это в полной мере относится к выводам РЭ, так как они изготавливаются из цветных металлов и их сплавов.

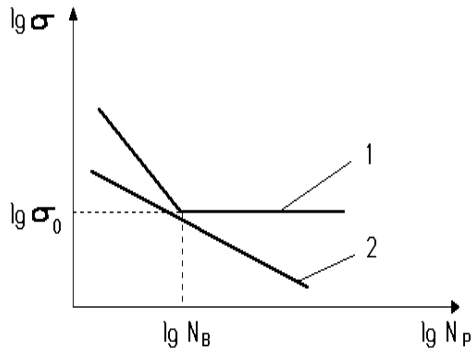


Рис.1. Кривые усталости для различных материалов

Значения параметра m для машиностроительных конструкций приведены в [4]. Для РЭ можно в некотором приближении воспользоваться этими данными, но для более точных расчетов потребовалось получить экспериментально кривые Веллера для различных конструкций РЭ. Для этих целей была разработана специальная методика и получены значения параметров m и σ_0 для различных видов конструкций РЭ.

Методика расчета. Для расчета выводов РЭ на усталость при воздействии случайной вибрации необходимо использовать одну из гипотез суммирования усталостных повреждений, возникающих от действия амплитуд различных уровней. Использование известных гипотез [7-11] встречает большие сложности при расчетах в условиях случайного нагружения, так как в этом случае становится неопределенным понятие цикла нагрузки и схематизация такого нагружения может привести к существенным погрешностям при расчете усталостной прочности выводов РЭ.

Для стационарного случайного процесса использована гипотеза суммирования усталостного повреждения при циклическом нагружении, основанная на суммировании энергии колебаний на отдельных частотах [12].

В соответствии с этой гипотезой время до усталостного разрушения выводов РЭ при случайном воздействии может быть найдено по формуле:

$$t = \frac{2\pi A}{\Delta^m \left(\sqrt{2}\right)^m \Gamma\left(\frac{m+2}{m}\right)\left(\int\limits_{\omega} S_0(\omega)\omega^{2/m} d\omega\right)^{m/2}}, \qquad (3)$$

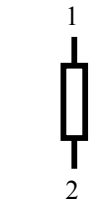
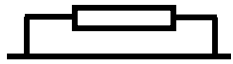
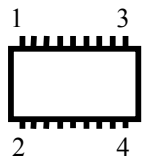
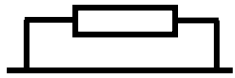
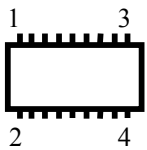
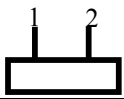
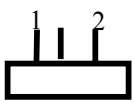
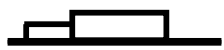
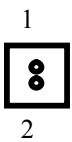
где $\Delta = \sqrt{D}$ – среднеквадратическое отклонение текущих значений напряжений; D – дисперсия; $S_0(\omega) = \frac{S(\omega)}{D}$ – приведенная спектральная плотность; $S(\omega)$ – спектральная плотность; $\Gamma\left(\frac{m+2}{m}\right)$ – гамма-функция; ω – круговая частота гармонического нагружения $(\omega = 2\pi \mathrm{f})$; A, m – характеристики кривой усталости в соответствии с уравнением $N_p \sigma_a^m = A$; $\sigma_0 = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$ – амплитуда напряжения в цикле; $\sigma_{\min}$ – минимальное механическое напряжение в выводе РЭ (с учетом знака).

Для расчета по формулам (1)–(3) времени до усталостного разрушения выводов РЭ необходимо определить механические напряжения в выводах. Следовательно, нужно получить макромодели РЭ для расчета механических напряжений в выводах, а затем, используя их совместно с моделями (1)–(3), рассчитать время до усталостного разрушения выводов РЭ при гармонической и случайной вибрациях.

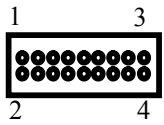
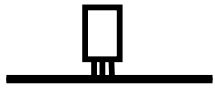
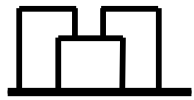
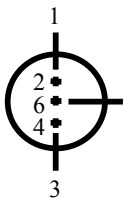
Один и тот же РЭ может быть закреплен различными способами (табл.1). Например, резистор может иметь шифры способов крепления 1, 3, 4. Это приводит к тому, что один и тот же РЭ имеет различные расчетные макромодели. В то же время разные РЭ могут иметь незначительные конструктивные отличия корпусов, крепления, а следовательно, одинаковые расчетные макромодели. Например, диод с шифром способа крепления 18 и транзистор с шифром способа крепления 20 имеют одну и ту же расчетную макромодель вывода. Радиоэлементы, установленные на собственных выводах, могут иметь резонансы в диапазоне частот воздействующей вибрации или акустического шума, которые приводят к значительному возрастанию колебаний и, в результате, чаще всего к поломкам выводов. Радиоэлементы, корпуса которых жестко скреплены с платой, практически не имеют резонансов в рабочем диапазоне частот механических воздействий, но из-за изгибных колебаний ПУ имеют значительные механические напряжения в выводах, которые также могут привести к поломкам, в том числе к усталостным. Выводы таких РЭ имеют значения собственных частот, значительно превышающие верхнюю границу заданного частотного диапазона. Поэтому резонансные колебания выводов РЭ, корпуса которых жестко скреплены с платой, здесь не рассматриваются.

Таблица 1

Варианты установки РЭ на плате

Способ крепления		Варианты установки РЭ
Вид сверху	Вид слева	
1	2	3
		1
		2
		3, 4
		5, 6
		7, 8
		9, 10
		11
		12

Окончание табл.1

1	2	3
		13
		14
		15
		16
1 – центр корпуса (всего N выводов)		17
		18, 19
 5		20, 21

Примечание: 1. Символом "о" обозначены невидимые сверху точки крепления выводов РЭ к плате.

2. Цифрами обозначены точки крепления выводов РЭ к плате, для которых нужно вводить координаты.

3. Если указаны два варианта установки, то при этом первый вариант установки означает приклеивание, а второй – жесткое закрепление (винтовое, хомутиком и т.д.).

Количество РЭ на печатной плате может превышать сотню. В одном блоке может быть несколько десятков ПУ. В одной стойке или шкафе может быть несколько блоков. Несложный арифметический расчет показывает, что в одной стойке или шкафе может быть несколько тысяч РЭ. Если проводить расчет в частотном диапазоне, например на 100 частотах, по-

требуется проводить несколько сот тысяч расчетов РЭ для одной стойки или шкафа, а если расчет проводить по методу Монте-Карло, то и того больше. И если при этом использовать дискретные модели, то расчет может затянуться на месяцы и даже годы. Единственным выходом является использование аналитических макромоделей РЭ. Кроме того, количество расчетов можно уменьшить методически, используя аналогию конструкций и опыт расчетов для предыдущих проектов.

Рассмотрим способы крепления РЭ, представленные в табл. 1 под шифрами 1 и 2. В этом случае масса корпуса РЭ много больше массы выводов. Следовательно, массой выводов можно пренебречь. В то же время жесткость выводов на изгиб много меньше жесткости корпуса РЭ на изгиб. Таким образом, расчетная макромодель представляется в виде П-образной рамы с защемленными краями и сосредоточенной посередине массой (рис. 2,а). Аналогично для способов крепления РЭ, представленных в табл. 1 под шифрами 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, расчетные макромодели имеют вид сосредоточенных масс, установленных на стержне (рис. 2,б). В зависимости от направления динамической силы такие макромодели при определении собственных частот колебаний РЭ нужно рассматривать как системы с одной, двумя или, например, шестью степенями свободы. Для таких систем при расчете ускорений корпусов РЭ и собственных частот колебаний РЭ используется макромодель конструкции РЭА на виброизоляторах, которая приведена в [1]. Для расчета напряжений в выводах используется метод сил [2], широко применяемый в строительной механике.

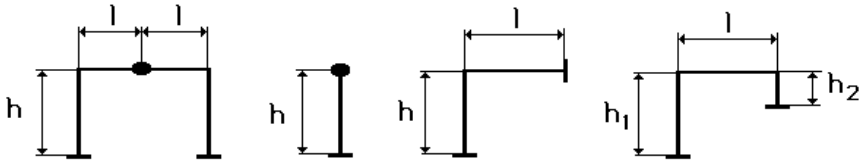


Рис.2. Расчетные модели радиоэлементов

Учитывая, что у РЭ с шифрами способов крепления 3–10, 18–21 корпуса жестко скреплены с платой и не влияют на колебания выводов при механических воздействиях, макромодели для расчета напряжений в выводах в таких РЭ можно представить в виде рам. Расчетные макромодели, представленные на рис.2,в,г соответствуют способам крепления РЭ с шифрами 3–10, 18–21.

Так как колебания выводов РЭ являются изгибными, для расчета времени до усталостного разрушения выводов РЭ необходимы только нормальные механические напряжения, которые можно определить по формуле [2]:

$$\sigma = \frac{Md}{2I}\ , \qquad (4)$$

где M – изгибающий момент в сечении вывода, в котором рассчитывается напряжение; d – сторона поперечного сечения вывода, параллельная плоскости изгиба (для круглого сечения – диаметр); I – момент инерции поперечного сечения вывода.

Очевидно, что механические напряжения следует определять в так называемых опасных сечениях выводов, в которых они максимальны и вероятность поломки наибольшая. Это места крепления выводов к корпусу РЭ и к плате, а также точки изгиба. Как видно из формулы (4), основным неизвестным является изгибающий момент. Необходимо провести его расчет для различных способов крепления РЭ.

Для определения виброускорения РЭ, установленного на собственных выводах, получена следующая общая формула:

$$\left|a_p\right| = a\sqrt{\frac{I+\gamma^2}{\left[I-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2+\gamma^2}}, \qquad (5)$$

где a – ускорение участка ПУ в месте крепления выводов РЭ; ω_0 – резонансная частота колебаний РЭ (циклическая); ω – текущая круговая частота колебаний; γ – КМП в материале вывода.

Данная модель является нелинейной, так как γ зависит от напряжения, которое в свою очередь зависит от виброускорения. Учет рассеивания энергии в материалах конструкции проводится согласно гипотезе Сорокина.

Получены формулы расчета резонансных частот для поступательных и вращательных движений корпуса РЭ и изгибающих моментов при вибрационных воздействиях. Фрагменты их приведены в табл.2 и 3.

Таблица 2

Математические модели выводов радиоэлементов, корпуса которых скреплены с платой

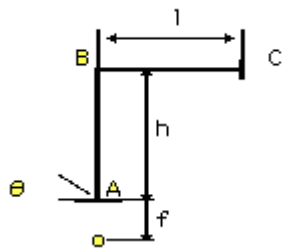
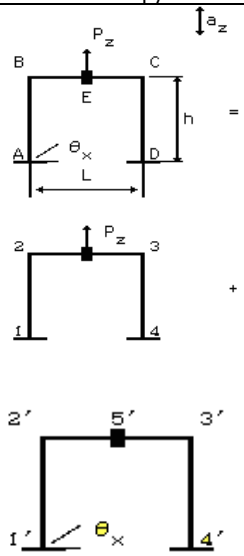
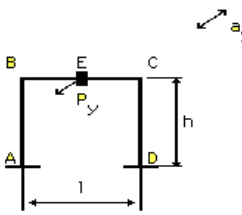
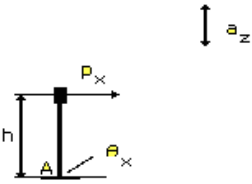
Номер	Схема и нагрузка	Математические модели
1		$M_A = \frac{EI}{(1+k)h}\left[\frac{3f}{l}+(3+4k)\theta\right]$, $M_B = \frac{2EI}{(1+k)l}\left[\frac{3f}{h}+\theta\right]$, $M_C = \frac{EI}{1+k}\left[\frac{3(1+2k)f}{h^2}+\frac{\theta}{l}\right]$, $k = \frac{h}{l}$

Таблица 3

Математические модели радиоэлементов на собственных выводах

Номер	Схема и нагрузка	Математические модели
1		$M_A = M_D = M_1 + M_1^{'};\quad M_1 = M_4 = \frac{P_z L}{8(2+k)};$ $M_B = M_C = M_2 + M_2^{'};\quad M_2 = M_3 = \frac{P_z L}{4(2+k)};$ $M_E = M_5 - M_5^{'};\quad M_5 = \frac{P_z L}{4(2+k)}(1+k);$ $M_1^{'} = M_4^{'} = \frac{2\theta_x(3+2k)EI}{h(2+k)};\quad k = \frac{h}{L},\ P_z = \frac{m\lvert a_z\rvert}{N_p};$ $M_2^{'} = M_3^{'} = \frac{4EI\theta_x}{L} - kM_1^{'};\quad \omega_0 = \sqrt{\frac{24EI}{mh^3\left(1+\frac{3}{6k+1}\right)}}.$ $M_5^{'} = \frac{4EI\theta_x}{L} + kM_1^{'};$
4		$M_A = M_D = \frac{P_y h}{2},\ M_B = M_C = \frac{P_y L^2}{16Eh/G + 8L};$ $M_E = \frac{P_y L}{4}\left(1 - \frac{L}{4Eh/G + 2L}\right);$ $\omega_0 = \sqrt{\frac{2N_p}{\frac{m}{EI}\left(\frac{L^3}{24} + \frac{h^3}{3} - \frac{L^4 G}{32(2hE + LG)}\right)}};\quad P_y = \frac{m\lvert a_y\rvert}{N_p}.$
5		$M_A = \frac{P_x h^{'}}{N_v};\ \omega_0 = \sqrt{\frac{C_x N_v}{Q}};\ h^{'} = h - \frac{D}{2};$ $C_x = \frac{EI}{5d};\ P_x = \frac{m\lvert a_x\rvert}{N_v};\ a_x = h^{'} tg\theta_x \omega^2.$ 1. Шифры 11, 12, 13: $Q = \frac{mD^2}{16} + m\left(\frac{L_R^2}{12} + h^2\right)$ – для корпуса круглого сечения, $Q = \frac{m}{12}\left(D^2 + L_R^2\right) + mh^2$ – для корпуса прямоугольного сечения. 2. Шифр 14: $Q = \frac{m}{12}\left(D^2 + L_R^2\right) + mh^2$. 3. Шифр 15: $Q = \frac{mD^2}{8} + mh^2$ и др.

Выводы. Разработанные расчетные модели легли в основу автоматизированной подсистемы анализа и обеспечения времени до усталостного разрушения пластинчатых и стержневых элементов конструкций блоков кассетного типа и блоков этажерочного типа бортовой радиоэлектронной аппаратуры при вибрационных воздействиях и были использованы для оценки времени до усталостного разрушения выводов РЭ.

Библиографический список

1. *Токарев М.Ф.* Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры / М.Ф.Токарев, Е.Н.Талицкий, В.А.Фролов. – М., 1983. – 256 с.

2. *Степин П.А.* Сопротивление материалов: учебник для немашиностроит. спец. вузов / П.А.Степин. – М.: Высшая школа, 1988. – 367 с.

3. *Иосилевич Г.Б.* Прикладная механика: для студентов втузов / Г.Б. Иосилевич, П.А.Лебедев, В.С.Стреляев. – М.: Машиностроение, 1985. – 576 с.

4. *Трощенко В.Т.* Сопротивление усталости металлов и сплавов: справочник / В.Т.Трощенко, Л.А.Сосновский. – Киев: Наукова думка, 1987. – 1303 с.

5. *Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М.* Несущая способность и расчет деталей машин на прочность: руководство и справочное пособие / под ред. С.В. Серенсена. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.

6. Прочность при нестационарных режимах нагружения / Серенсен С.В., Буглов Е.Г., Гарф М.Э. и др. – Киев: Изд-во АН УССР, 1961. – 295 с.

7. Кожевников А.М. Исследование и разработка машинных методов расчета конструкций печатных узлов РЭА при внешних механических воздействиях: дис…. канд. техн. наук. – М., 1976. – 186 с.

8. *Филатов Э.А.* Изучение накопления усталостного повреждения в зависимости от режима эксплуатационного нагружения / Э.А.Филатов, В.Э.Павловский, Ю.А.Панфилов // Проблемы прочности, 1971. – № 3. – С. 10-14.

9. *Болотин В.В.* Статистические методы в строительной механике / В.В.Болотин. – М.: Стройиздат, 1965. – 279 с.

10. *Решетов Д.Н.* Расчет деталей станков / Д.Н.Решетов. – М.: Машгиз, 1945. – 138 с.

11. Павлов П.А. Основы инженерных расчетов элементов машин на усталость и длительную прочность / П.А.Павлов. – Л.: Машиностроение, 1988. – 252 с.

12. Райхер В.Л. Гипотеза спектрального суммирования и ее применение к определению усталостной долговечности при действии случайных нагрузок / В.Л. Райхер // Проблемы надежности в строительной механике. – Вильнюс, 1968. – С. 267-273.

Материал поступил в редакцию 29.02.08.

K.V. ROSCHIN

THE FATIGUE FAILURE OF RADIOELEMENTS OUTPUTS AT HARMONIC AND CASUAL VIBRATION

Using of known hypotheses at calculation radioelements outputs (RE) on a fatigue at action of casual vibration meets major complexities at calculations in requirements of a casual loading. Designed calculated models are put in foundation of the automized subsystem for the analysis and security of time before fatigue failure of plate-like and rod devices of constructions of cassette and floor type blocks of onboard radio-electronic equipment at vibrational actions and are used for an time estimation before fatigue failure of RE outputs.

РОЩИН Константин Владимирович (р.1983), соискатель кафедры «Информатика» ДГТУ. Окончил Кубанский государственный технологический университет (2005).
Область научных интересов связана с решением проблем прочности и надежности элементов конструкций бортовой радиоэлектронной аппаратуры при механических воздействиях.
Автор 5 научных публикаций.

ИНЖЕНЕРНО-АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

УДК 631.31

Н.А. СОКОЛ, В.В. ГУЛЬТЯЕВ

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОТАЦИОННОГО РЫХЛИТЕЛЯ ПОЧВЫ

Приведены результаты экспериментальных исследований бесприводного ротационного рыхлителя почвы. Даны рекомендации по выбору его конструктивных параметров.
Ключевые слова: *ротационный рыхлитель, конструктивные параметры.*

Введение. Создание новых ротационных орудий для обработки почвы требует разработки секций рыхлителей, обеспечивающих сплошное рыхление. В работе [1] проведено исследование рабочего процесса взаимодействия лопаток двухбарабанного рыхлителя с почвой (рис.1).

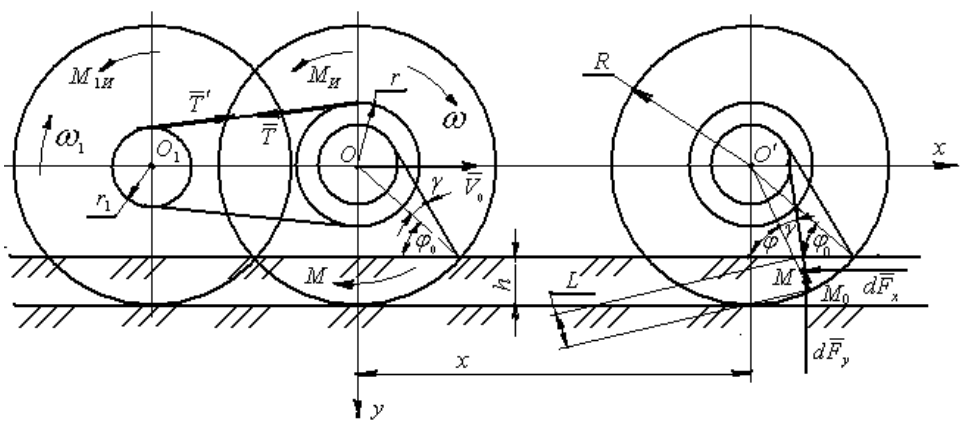


Рис.1. Схема рыхлителя

Получено дифференциальное уравнение вращательного движения ротора:

$$J_O \frac{d^2\varphi}{dt^2} + J_{O1} i \frac{d^2\varphi}{dt^2} + kbR^3 \frac{d\varphi}{dt}[f_2(\varphi) + f_2(\varphi + \alpha)] +$$

$$+ i^2 k_1 b_1 R^3 \frac{d\varphi}{dt} f_2(i\varphi) - kbR^2 V_0 [f_1(\varphi) + f_1(\varphi + \alpha)] - ik_1 b_1 R^2 V_0 f_1(i\varphi) = 0,$$

где

$$f_1(\varphi) = \frac{\sin^2 \varphi - \sin^2 \varphi_0}{2};$$

$$f_2(\varphi)=(\sin\varphi-\sin\varphi_0)[\sin^2\varphi+\cos^2\varphi\frac{\cos(\varphi+\gamma)}{\sin(\varphi+\gamma)}-$$

$$(\sin\varphi-\sin\varphi_0)^2[\sin^2\varphi+\cos^2\varphi\frac{\cos^2(\varphi+\gamma)}{\sin^2(\varphi+\gamma)}+$$

$$+\frac{(\sin\varphi-\sin\varphi_0)^3}{3}\left(1+\frac{\cos^3(\varphi+\gamma)}{\sin^3(\varphi+\gamma)}\right);$$

$$f_1(\varphi+\alpha)=\frac{\sin^2(\varphi+\alpha)-\sin^2\varphi_0}{2};$$

$$f_2(\varphi+\alpha)=[\sin(\varphi+\alpha)-\sin\varphi_0][\sin^2(\varphi+\alpha)+$$

$$+\cos^2(\varphi+\alpha)\frac{\cos(\varphi+\alpha+\gamma)}{\sin(\varphi+\alpha+\gamma)}]-[\sin(\varphi+\alpha)-\sin\varphi_0]^2+$$

$$+[\sin(\varphi+\alpha)+\cos(\varphi+\alpha)\frac{\cos^2(\varphi+\alpha+\gamma)}{\sin^2(\varphi+\alpha+\gamma)}]+$$

$$\frac{[\sin(\varphi+\alpha)-\sin\varphi_0]^3}{3}[1+\frac{\cos^3(\varphi+\alpha+\gamma)}{\sin^3(\varphi+\alpha+\gamma)}].$$

$$f_1(i\varphi)=\frac{\sin^2\varphi_1-\sin^2\varphi_0}{2};$$

$$f_2(i\varphi)=(\sin\varphi_1-\sin\varphi_0)[\sin^2\varphi_1+\cos^2\varphi_1\frac{\cos(\varphi_1+\gamma)}{\sin(\varphi_1+\gamma)}]-$$

$$-(\sin\varphi_1-\sin\varphi_0)^2[\sin\varphi_1+\cos\varphi_1\frac{\cos^2(\varphi_1+\gamma)}{\sin^2(\varphi_1+\gamma)}]+$$

$$+\frac{(\sin\varphi_1-\sin\varphi_0)^3}{3}\left(1+\frac{\cos^3(\varphi_1+\gamma)}{\sin^3(\varphi_1+\gamma)}\right).$$

В результате анализа полученного уравнения выведены соотношения между кинематическими и конструктивными параметрами рыхлителя.

$$\omega=\frac{V_0}{R}\lambda=\frac{if_1(i\varphi)+c[f_1(\varphi)+f_1(\varphi+\alpha)]}{i^2f_2(i\varphi)+c[f_2(\varphi)+f_2(\varphi+\alpha)}$$

где $c=\frac{kb}{k_1b_1}$, k – коэффициент, характеризующий сопротивление почвы;

b – ширина лопатки рабочего органа; i – передаточное отношение.

Постановка задачи. Целью данного исследования является расчетное и экспериментальное определение конструктивных параметров рыхлителя.

Решение задачи. Произведен расчет конструктивных параметров рыхлителя при различных кинематических параметрах. Результаты расчета приведены в таблице.

Расчетные значения конструктивных параметров рыхлителя

			Угол поворота ротора						
i	C	Углы γ, град.	5	10	15	20	25	30	
i =3	C=4	$\gamma = \gamma_1 = 10$	0,755	0,695	0,683	0,749	1,01	1,32	
		$\gamma = \gamma_1 = -10$	0,698	0,672	0,669	0,724	0,921	1,24	
		$\gamma = \gamma_1 = 0$	0,727	0,685	0,678	0,737	0,963	1,28	
		$\gamma=0, \gamma_1=10$	0,746	0,688	0,676	0,741	0,993	1,28	
		$\gamma=0, \gamma_1=-10$	1,708	0,68	0,676	0,732	0,935	1,28	
		$\gamma=10, \gamma_1=0$	0,735	0,691	0,683	0,745	0,98	1,2	
		$\gamma=-10, \gamma_1=0$	0,717	0,675	0,669	0,729	0,948	1,2	
		$\gamma=10, \gamma_1=10$	0,715	0,688	0,683	0,74	0,951	1,32	
		$\gamma=-10, \gamma_1=10$	0,736	0,68	0,669	0,733	0,977	1,25	
i=3	C=6	$\gamma = \gamma_1 = 0$	0,862	0,757	0,752	0,817	1,029	1,28	
i=I			1,09	1,105	1,14	1,18	1,23	1,267	1,28
i=I,5	C=4	$\gamma = \gamma_1 = 0$	1,038	1,039	1,061	1,085	1,106	1,12	1,14
i=2			0,949	0,93	0,931	0,938	0,96	1,01	1,1
i=2,5			0,839	0,804	0,793	0,809	0,884	1,07	1,33
i=4			0,538	0,499	0,55	0,938	-	-	-

Для экспериментального исследования была изготовлена установка (рис.2). Опыты проводились в почвенном канале с применением рентгенографического оборудования. По результатам рентгенографического анализа были найдены оптимальные значения углов установки γ на диске. Этот угол характеризует отклонение лопатки от радиального положения относительно центра.

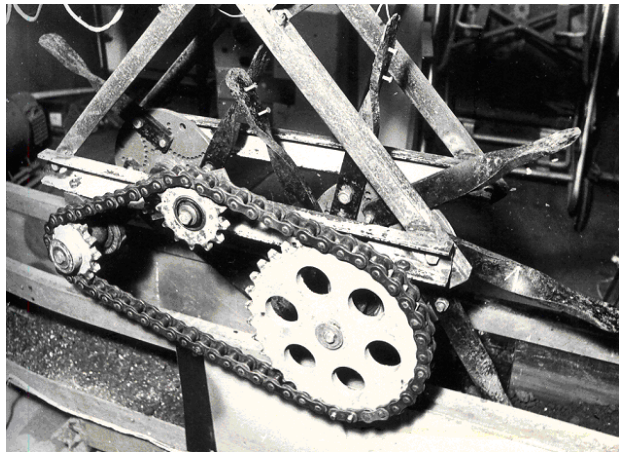


Рис.2. Экспериментальная установка

При положительных углах установки лопаток на ведущем диске происходит рыхление почвы за счет подрезания слоя почвы и последующего крошения при перемещении его по плоскости лопатки. Это наблюдается лишь в начальный момент ее заглубления в почву, а затем до максимального заглубления лопатки преобладают деформации сдвига почвы, характерные для жестких стоек рабочих органов культиваторов. На стадии выглубления имеет место рыхление и уплотнение почвы с проявлением деформации сдвига. Причем наибольшее влияние в конечной стадии приоб-

ретает процесс уплотнения, характеризующийся «защемлением» сдвигаемых слоев почвы между плоскостью лопатки и нижним необработанным слоем.

Установка лопаток под положительным углом ($+\gamma$) на ведомом диске приводит к некоторому улучшению условий заглубления лопатки в почву за счет более отвесного входа ее в почву с ударом преимущественно лезвийной части, что обусловливает более интенсивное крошение комков почвы. На стадии выглубления в этом случае лопатка выполняет ярко выраженную функцию швырялки, отбрасывая часть почвы назад и образуя на дневной поверхности почвы характерную лунку.

При установке лопаток на диске под отрицательным углом ($-\gamma$) от радиального положения процесс деформации почвы имеет следующие особенности. Ведущий диск в основном выполняет рыхлительную функцию. При этом преобладает рыхление за счет подрезания слоя почвы и деформаций сдвига при перемещении почвы по плоскости лопатки за счет изменения угла крошения. В этом случае профиль дна бороздки, проделываемый в почве лопаткой, характеризуется более плавным заглублением лопатки, то есть более длительной фазой заглубления и более короткой стадией выглубления (менее пологой кривой выхода) лопатки из почвы.

Для заднего диска свойственны функции уплотняющего воздействия лопаток на почву, особенно в стадии заглубления и менее выраженного отбрасывающего воздействия лопаток на почву в стадии выглубления лопаток.

При радиальном расположении лопаток на дисках процесс взаимодействия их с почвой не обладает какими-либо выраженными характерными особенностями, однако, в некоторой степени ему присущи основные черты изложенных выше процессов деформации почвы для двух случаев расположения лопаток со смещением от радиального. Так, например, в стадии заглубления для ведущего диска более характерно подрезание слоя и рыхление почвы при изменяющемся угле крошения, а на стадии выглубления преобладает функция уплотняющего воздействия лопаток на почву.

Для ведомого диска в стадии заглубления была характерна функция уплотнения почвы, а в стадии выглубления – отбрасывания почвы, но несколько меньше выраженная, чем при положительном угле смещения лопаток от радиального.

Выводы. В результате экспериментальных исследований установлено,что для достижения увеличения вращающего момента и незначительного уплотняющего эффекта от воздействия лопаток на почву угол установки лопаток на ведущем диске следует выбирать положительным, в пределах 10-15°. При этом, если обработка поверхностного слоя ведется после основной, то с целью разрушения комков на поверхности почвы для лопаток заднего диска предпочтительно выбирать отрицательный угол установки.

При обработке уплотненного поверхностного слоя угол установки лопаток ведущего диска предпочтительно выбирать отрицательным, и чем выше плотность поверхностного слоя, тем больший выбирается угол. При этом для лопаток заднего диска необходимо выбирать положительный угол из условия, чтобы внедрение лопатки в почву обеспечивалось лезвием.

Для достижения швыряющего эффекта лопатки заднего диска с целью разрушения отбрасываемых комков почвы о неподвижную плоскость,

например, кожух заднего ротора, необходимо выбирать максимально возможный положительный угол установки лопатки заднего диска.

Библиографический список

1. *Дьяченко Г.Н.* Исследование динамики рабочего процесса ротационного рыхлителя почвы / Г.Н.Дьяченко, В.В.Гультяев, Н.А.Сокол // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Технические науки. – 2004, прил. № 3.

Материал поступил в редакцию 28.02.08.

N.A. SOKOL, V.V. GUL'TYEV

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF GROUND MELTER

Results of experimental researches rotational ground melter, that works via rotation of working body and not requiring an external power source. Recommendations at the choice of its design data are given.

СОКОЛ Николай Александрович (р. 1940), доцент кафедры «Сервис и техническая эксплуатация автотранспортных средств» ДГТУ, кандидат технических наук. Окончил РИСХМ (1967).
Научные интересы лежат в области земледельческой механики (почвообрабатывающие и посевные машины).
Автор 100 научных статей.

ГУЛЬТЯЕВ Василий Васильевич (р. 1938), доцент кафедры «Теоретическая механика» ДГТУ, кандидат технических наук. Окончил РИСХМ (1967).
Научные интересы – динамика мобильных агрегатов.
Опубликовано свыше 60 научных статей.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.382

Г.А. ГАЛЬЧЕНКО, В.И. ЛОГВИНОВ, А.А. ТИХОНОВ

НАНОТЕХНОЛОГИИ И ДОВУЗОВСКАЯ ПОДГОТОВКА

Рассмотрены некоторые аспекты довузовской подготовки потенциальных абитуриентов вузов с целью внесения дополнений в содержание среднего образования в соответствии с развитием фундаментальных представлений о новых явлениях, структуре и свойствах наноматериалов.
***Ключевые слова**: нанотехнологии, информатика, довузовская подготовка.*

Введение. В ближайшее десятилетие ожидается прорыв в науке и технике на основе нанотехнологий и развитие фундаментальных представлений о новых явлениях, структуре и свойствах наноматериалов [1-6]. Продолжится формирование научного сообщества, подготовка и переподготовка кадров, нацеленных на решение научных, технологических и производственных проблем нанотехнологий, создание наноматериалов и наносистемной техники и достижение на этой основе высокого уровня в фундаментальной и прикладной науках [1-6].

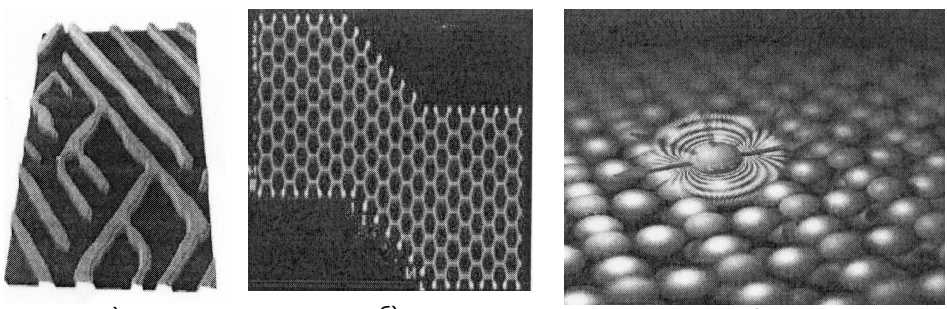
Достижение намеченных целей потребует системного подхода к решению целого ряда взаимосвязанных задач, одной из которых является подготовка специалистов для различных отраслей промышленности и абитуриентов для соответствующих учебных заведений.

Постановка задачи. В связи с развитием и применением нанотехнологий во многих сферах человеческой деятельности довузовская базовая подготовка учащихся и потенциальных абитуриентов вузов должна быть соответственно скорректирована в сторону познания новых технологий, в том числе наноконструирования в науке и технике [5]. В настоящее время этот раздел знаний в средней школе представлен как базовый курс информатики. Информатика в условиях развивающегося информационного общества является основой изучения ряда общепрофессиональных и специальных дисциплин при подготовке специалистов разных уровней. Внедрение базовых и прикладных информационных технологий, широко применяемых при решении фундаментальных задач в различных предметных областях, также невозможно без информатики и ее современного аппаратурного обеспечения, а именно, весь ПК как комплекс, а также платы, микросхемы, порты, коммуникационные соединения, встроенные и съемные носителя информации (флеш-карты, винчестеры, буферные блоки памяти и др.).

С этой точки зрения необходимо проанализировать современные достижения и направления развития нанотехнологий и наноматериалов, которые будут существенным образом влиять на развитие информатики и информационные технологии. Это позволит обозначить контуры программы довузовской подготовки учащихся и потенциальных абитуриентов вузов по предмету "Основы нанотехнологий" и прежде всего в области информатики, направить усилия на качественное учебно-методическое обеспечение процесса первичного познания [3-4].

Основное содержание. В преподавании информатики Ростовская область с 2005 года перешла на федеральный образовательный стандарт.

Развитие нанотехнологий, появление новых материалов (таких как, например, углеродные нанотрубки (carbon nanotubes), нитевидные наночастицы никеля), позволяют принципиально изменять программно-аппаратную структуру компьютеров. Огромный потенциал имеет наноэлектроника на основе графена [8]. В графеновых плоскостях атомы углерода расположены по углам правильных шестиугольников, а каждый атом связан с тремя соседними атомами неполярными ковалентными связями. Хорошо известные кристаллы графита построены из таких параллельных друг другу графеновых плоскостей, связанных слабыми силами Ван-дер-Ваальса. В настоящее время создан прототип графеновой памяти (рис.1,а), а квантовые точки, расположенные на графеновой поверхности, можно достаточно легко производить с помощью традиционных литографических методов. Самое интересное в графеновой наноэлектронике состоит в том, что для работы RAM-блока не нужно соединять отдельные ключи нанопроводниками – графеновый лист представляет собой полностью функциональное, цельное устройство, состоящее из двух основных типов Z-образных графеновых нанолент-соединений, которые характеризуются либо полупровод-никовыми, либо металлическими свойствами. Свойства пары "металл-полупроводник" зависят от ширины графеновой ленты, а лента-зигзаг имеет явно выраженные металлические свойства (рис.1,б).



а) б) в)

Рис.1. Наноматериалы для электроники; а – графеновая ячейка памяти;
б – графеновая лента; в – ячейка для хранения информации размером в один бит

Таким образом, при подаче внешнего напряжения массив нанолент, разделенный между собой краевыми разделителями, может работать как массив RAM-памяти, так как наличие либо отсутствие квантовой точки на местах пересечения лент будет соответствовать логическому двоичному "0" или "1".

Исследователи обнаружили, что ячейкой хранения информации размером в один бит может выступать отдельный атом, сообщает компания IBM в своем пресс-релизе. Используя сканирующий туннельный микроскоп, ученые помещали атом железа, функционирующий как самостоятельный магнит, на тонкую пленку нитрида меди. При этом за счет взаимодействия атома железа с окружающими немагнитными атомами возникает явление магнитной анизотропии: магнитный момент ориентируется в определенном направлении (рис.1,в).

Направление магнитного момента можно использовать как значение бита: 0 или 1. Если однобитовую ячейку действительно удастся довести до размера одного атома, то объемы информации, которую могут хра-

нить жесткие диски, возрастут в тысячи раз. К изменению аппаратной части компьютеров приведет появление полимерных наноструктур для гибких экранов; двумерных сегнетоэлектрических пленок для энергонезависимых запоминающих устройств; жидкокристаллических наноматериалов для высокоинформативных и эргономичных типов дисплеев, новых типов жидкокристаллических дисплеев (электронная бумага).

Мировое научное сообщество сейчас активно дискутирует на тему квантовых битов, квантовых компьютеров и квантовой криптографии. По оптимистическим прогнозам, квантовые компьютеры по скорости вычисления и используемой алгоритмической базе будут принципиально отличаться от современных компьютеров. Важной задачей является умение моделировать поведение наносистем, особенно в тех случаях, если желательные свойства на уникальном нанообъекте никак нельзя измерить. Моделирование наносистем должно быть многомасштабным, т.е. основанным на нескольких различных алгоритмах и корреляциях [5]. Для моделирования поведения наносистем необходимо использование суперкомпьютеров.

На сегодняшний день важный шаг в направлении создания суперкомпьютерных центров в нашей стране сделан установкой отечественной суперЭВМ "СКИФCyberia" мощностью 12 терафлоп в Томском государственном университете. Перспективные разработки в области создания отечественных суперкомпьютеров ведутся в межведомственном суперкомпьютерном центре РАН.

Альтернативой суперкомпьютеру является задача создания и совершенствования оперативного инструментария для повседневных тонких исследований явлений и углубления представлений об окружающем мире. И первым таким инструментом становится разработка отечественных ученых – туннельный микроскоп в составе комплекса нанотехнологического оборудования «УМКА» (рис.2).

Рис.2. Комплекс нанотехнологического оборудования "УМКА", http:// www.nanonewsnet.ru/umka

Назначение: проведение демонстрационных, исследовательских и лабораторных работ на атомно-молекулярном уровне в области физики, химии, материаловедения, биологии, медицины, генетики и других фундаментальных и прикладных наук; обучение современным практическим методам и приемам работы с наноразмерными структурами.

Основные технические характеристики:

- поле сканирования (мкм) ..... 5 х 5
- разрешающая способность по осям X,Y, Z(нм), не хуже.....0.02
- диапазон перемещений точного пьезосканера по осям:
X,Y, Z (мкм), не менее.....2.2
- время выхода системы на рабочий режим (мин) не более.....10
- электропитание комплекса обеспечивается
от сети напряжением (В)... .....220±10%
- потребляемая мощность (Вт) не более:..... 100

Достижения и новые возможности познания в области фундаментальных и прикладных наук [5,6], а также создание новых наноматериалов и наносистемной техники находят отражение в образовательном процессе разных уровней при преподавании основ технологий новых материалов. Анализ показывает, что "Основы нанотехнологий" - не традиционный предмет, а, скорее, междисциплинарный, на стыке физики, химии, биологии, математики, информатики и технологий. В настоящее время в таких странах, как Япония, Китай, Мексика создаются специальные учебные модули с уже готовыми результатами, буклетами с информацией по данной теме, т.е. то, что преподаватели могут включать в стандартный учебный план. Таким образом, с использованием современных информационных ресурсов (интернет, рунет, локальные сети, например, www.dstu.edu.ru, электронные библиотеки и носители информации, подкрепленные доступным инструментарием исследований и наблюдений) может быть создано необходимое методическое обеспечение учебного процесса.

Сотрудниками Южного Федерального Университета (ЮФУ) и Классического лицея №1 при ЮФУ разработана структурированная по разделам естественных наук и информатике программа довузовской подготовки учащихся в области нанотехнологий.

В рамках этой программы предлагается включить следующие темы: современное состояние разработки суперкомпьютеров в России и за рубежом; области применения суперкомпьютеров; элементная база квантовых компьютеров и вычислительных клеточных структур; принципы создания оперативной памяти, процессора и других устройств нового поколения суперкомпьютеров; емкостные и скоростные характеристики суперкомпьютеров, принципы организации архитектуры на атомарно- молекулярном уровне; алгоритмы и методы для работы на суперкомпьютере; перспективы развития программного обеспечение суперкомпьютеров.

Данная программа довузовской подготовки учащихся в области нанотехнологий при ее реализации позволит ликвидировать имеющиеся пробелы и обеспечит базовую подготовку абитуриентов, соответствующую современному уровню развития науки и промышленности.

Выводы. Развитие нанотехнологий и их применение в различных сферах человеческой деятельности в условиях информационного общества требует корректировки программ довузовской подготовки учащихся. Необходимо введение предмета "Основы нанотехнологий", который является междисциплинарным, на стыке физики, химии, биологии, математики, информатики и технологии. Примером этого является разработанная сотрудниками ЮФУ и "Классического лицея №1" при ЮФУ программа, структурированная по разделам естественных наук и информатике и предназначения для довузовской подготовки учащихся в области нанотехнологий. Дальнейшая углубленная проработка программы и ее реализация в полном объеме позволит обеспечить базовую подготовку учащихся и абитуриентов, адекватную современному уровню развития науки и промышленности.

Библиографический список

1. *Алферов Ж.И.* Наноматериалы и нанотехнологии / Ж.И. Алферов и др. // Микросистемная техника. – 2003. – №8.– С. 3-13.
2. *Ковальчук М.В.* Нанотехнологии – фундамент наукоемкой экономики 21 века / М.В. Ковальчук // Российские нанотехнологии. – Т.2. – 2007. – Вып. 1-2. – С. 6-11.
3. *Андриевский Р.А.* Наноструктурные материалы: учеб. пособие / Р.А.Андриевский, А.В.Рагуля. – М.: Академия, 2005. – 192 с.
4. *Рит М.* Наноконструирование в науке и технике. Введение в мир нанорасчета / М.Рит. – М.-Ижевск: НИЦ «РиХД», 2005. –160 с.
5. *Кужаров А.С.* Триботехническая эффективность нанокластеров свинца, меди и палладия в водных растворах полиатомных спиртов /А.С.Кужаров и др. // Порошковая металлургия: респ. сб. науч. тр. – Вып.30. – Минск, 2007. – С.277-280.
6. *Люлько В.Г.* Микролегирование в вибрирующем слое как метод получения композиционных порошков и материалов с нанометрическими эффектами / В.Г. Люлько и др. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. Проблемы машиностроения. – С.75-79.

Материал поступил в редакцию 29.02.08.

G.A. GALCHENKO, V.I. LOGVINOV, A.A.TIKHONOV

THE NANOTECHNOLOGIES AND TRAINING OF GRADUATES OF SECONDARY SCHOOLS

In the paper some aspects of training graduates of secondary schools with the purpose depositing of additions in a contents of secondary education according to development of fundamental introducings about the new phenomena, structure and properties nanomaterials are considered.

ГАЛЬЧЕНКО Г.А., старший научный сотрудник, заведующий кафедрой информационных технологий Классического лицея № 1 при ЮФУ, кандидат физико-математических наук. Окончила РГУ (1971).
Область научных интересов: микрополосковые антенно-фидерные устройства, информационные технологии.
Автор более 60 научных работ.

ЛОГВИНОВ В.И. (р.1940), доцент кафедры информационных и управляющих систем РГАСХМ, кандидат технических наук (1972). Окончил НПИ (1963).
Область научных интересов: роботизация технологических процессов в машиностроении.
Автор более 30 научных работ.

ТИХОНОВ Андрей Александрович (р.1985), магистрант кафедры «Технология машиностроения» ДГТУ. Лауреат стипендиального гранта концерна «Алкоа» (2007-2008 г.г.), гранта на зарубежную практику в Венском техническом университета (2007 г.).
Научные интересы: технология машиностроения, компьютерные информационные технологии, телекоммуникации.
Автор 4 научных статей.

УДК 621.9.06-83

Ю.А. МАРКАРЬЯН, Д.В. ТРИНЦ

КОНТРОЛЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Рассматривается высокоточное, быстродействующее устройство измерения активной электрической мощности.
Ключевые слова: *активная электрическая мощность, металлорежущие станки, электропривод.*

Введение. Системы стабилизации мощности резания повышают производительность станков, позволяют улучшить использование электропривода и режущего инструмента. Однако непосредственное измерение мощности резания невозможно и поэтому для её оценки измеряют мощность, потребляемую асинхронным электроприводом станка [1].

Описание конструкции устройства. Устройство измерения активной мощности состоит из трёх последовательно соединенных функциональных схем: первая – согласующие усилители, на входы которых с измерительных сопротивлений подаются напряжения u_i, u_u, отображающие мгновенные значения тока и напряжения, потребляемые электроприводом; вторая – умножитель сигналов, которые поступают от согласующих усилителей, третья – фильтр низких частот (ФНЧ), соединённый с выходом умножителя. Конструктивно устройство выполнено на двух микросхемах. Согласующие операционные усилители и ФНЧ представлены интегральной схемой TL084, а умножитель - интегральной схемой AD734.

Вычисление активной мощности в устройстве. Предположим, что угол сдвига по фазе между током и напряжением в нагрузке равен φ. Выразим мгновенные значения электрических величин с помощью их действующих значений:

$$u_i = U_{i.д.}\sqrt{2}\sin\omega t\,, \qquad u_u = U_{u.д.}\sqrt{2}\sin(\omega t+\varphi)\,,$$

где $U_{i.д.}$ и $U_{u.д.}$ - отображения действующих значений тока и напряжения в электроприводе. Напряжения u_u и u_i поступают на входы согласующих операционных усилителей. На выходах усилителей имеем напряжения:

$$u'_u = K_1 u_u\,, \quad u'_i = K_2 u_i\,,$$

где K_1, K_2 - коэффициенты передачи операционных усилителей.

После перемножения значений u'_u и u'_i на выходе умножителя имеем напряжение u_y, которое представлено постоянной и переменной составляющими:

$$u_y = K_1K_2K_3u'_uu'_i = 2K'U_{u.д.}U_{i.д.}\sin\omega t\cdot\sin\left(\omega t+\varphi\right) =$$

$$= K'U_{u.д.}U_{i.д.}\cos\varphi - K'U_{u.д.}U_{i.д.}\cos(2\omega t+\varphi),$$

где K_3 - коэффициент передачи умножителя, а $K' = K_1K_2K_3$.

Сигнал u_y поступает на вход ФНЧ [2]. Так как ФНЧ исключает переменную составляющую, то напряжение - U_P на его выходе, с учётом собственного коэффициента передачи – K_4, определяется выражением

$$U_p = K_4 K' U_{i.д.} U_{u.д.} = K U_{i.д.} U_{u.д.} \cos\varphi$$

и пропорционально активной мощности, потребляемой электроприводом.

Вывод. Рассмотренное устройство обладает простотой схемного решения, а также повышенной точностью измерения (не более 0,1% от полной шкалы значений мощности) и высоким быстродействием (ширина полосы входного сигнала до 10 MHz), что подтверждается результатами эксперимента.

Библиографический список

1. *Корытин А.М.* Автоматизация типовых технологических процессов и установок / А.М. Корытин. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – С. 291-297.

2. *Крекрафт Д.* Аналоговая электроника. Техносфера / Д. Крекрафт, С. Джерджли. – М., 2005. – С. 208-217.

Материал поступил в редакцию 04.01.08.

J.A. MARKARIAN. D.V. TRINZ

THE CONTROL OF THE ACTIVE ELECTRIC POWER CONSUMED BY METAL – CUTTING LATHES DRIVE

The highly precise control device of active electric power consumed by metal – cutting lathes drives is described.

МАРКАРЬЯН Юлия Артемовна, аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета. Окончила РГЭА (1998), ДГТУ (2004).
Область научных интересов: динамический контроль процессов резания металлов.
Имеет 8 научных публикаций.

ТРИНЦ Дмитрий Викторович (р.1982), ассистент кафедры «Электротехника и электроника» Донского государственного технического университета. Окончил ДГТУ (2004).
Научные интересы: электрические измерения, контроль технологических процессов.
Автор 2 научных публикаций.

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРОВ!

Редакционная коллегия журнала «Вестник ДГТУ», ректорат, профком, профессорско-преподавательский состав Донского государственного технического университета сердечно поздравляют с юбилеем Анатолия Прокофьевича Бабичева и Анатолия Андреевича Рыжкина!

БАБИЧЕВ Анатолий Прокофьевич. 28 февраля 2008 года исполнилось 80 лет профессору Донского государственного технического университета (ДГТУ), доктору технических наук Бабичеву Анатолию Прокофьевичу, основателю и организатору широкого научного направления, получившего название «Вибрационная технология». Заслуги профессора А.П. Бабичева перед отечественной наукой получили заслуженное признание в нашей стране и за рубежом. По оценке американского библиографического (издания) указателя, «Доктор А.П. Бабичев мировой лидер в исследовании процессов вибрации и их внедрении в производство…». Он является член-корреспондентом АТН РФ, действительным членом Американского химического общества (ACS), членом секции международного комитета по «Финишным технологиям обработки прецизионных поверхностей» WEST-R, почетным профессором Винницкого государственного аграрного университета (Украина), председателем проблемного совета «Вибрационная технология» ЮРО АТН РФ, руководителем постоянно действующего регионального семинара «Применение низкочастотных колебаний в технологических целях», членом редакционных коллегий центральных журналов «Упрочняющие технологии и покрытия» (Россия), «Вибрации в технике и технологиях» (Украина). Плодотворная научная деятельность А.П. Бабичева отмечена многочисленными наградами, в том числе Золотой медалью международного общества инженеров-технологов (SME,2004, USA).

А.П. Бабичев родился в 1928 году в станице Лихая. Свой трудовой путь начал в период Великой Отечественной войны токарем паровозоремонтного депо (1943), в 1949 году окончил авиационный техникум, с 1950

по 1953 годы служил в рядах Советской Армии, а в 1954 году с отличием закончив Всесоюзный заочный политехнический институт, работал на предприятиях промышленности и научно-исследовательских институтах. Уже в этот период в полной мере проявился талант ученого-экспериментатора, и были заложены основы будущей научной школы.

С 1968 года А.П. Бабичев работает в ДГТУ: доцентом, заведующим кафедрой, деканом факультета. Здесь под его руководством ведется большая научно-исследовательская работа по актуальным проблемам технологии машиностроения, имеющим международное значение, создан научный центр вибрационной технологии, включающий НИИ «Вибротехнология», госбюджетные и хозрасчетные подразделения ДГТУ. На основе результатов многолетних научных исследований разработаны и внедрены в производство современные технологические процессы финишной обработки деталей и широкая номенклатура оборудования для их осуществления.

В 1974 году им успешно защищена докторская диссертация на тему «Исследование технологических основ процесса обработки деталей в среде колеблющихся тел (вибрационной обработки) с использованием низкочастотных вибраций».

Много внимания уделяет А.П. Бабичев воспитанию и подготовке инженерных и научных кадров. Его учениками успешно защищено 5 докторских и 59 кандидатских диссертаций.

Если первые работы молодого ученого были связаны с отделочно-зачистными технологиями вибрационной обработки, то в настоящее время круг научных интересов профессора А.П. Бабичева чрезвычайно широк: технология машиностроения и методы металлообработки; технологическое применение низкочастотных колебаний (вибрационные технологии); технологическое применение ударно-волновых процессов; вибрационная механохимия, экология; технология утилизации и вторичного использования отходов производства; природоохранная деятельность (лесоразведение в степной зоне).

А.П. Бабичев автор свыше 400 научных работ, 100 изобретений, 11 монографий, наиболее известными из которых являются: «Вибрационная обработка деталей» (1974г.), «Конструирование и эксплуатация вибрационных станков для обработки деталей» (1981г.), «Основы вибрационной технологии» (1998г.), «Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом» (2003г.), «Физико-технологические основы методов обработки» (2005г.) и другие.

Доктор технических наук, профессор А.П. Бабичев и в настоящее время продолжает свою многогранную научную и просветительскую деятельность, внося неоценимый вклад в российскую науку и в подготовку высококвалифицированных специалистов в области технологии машиностроения. За заслуги перед государством он награжден тремя правительственными медалями.

РЫЖКИН Анатолий Андреевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, заведующий кафедрой "Инструментальное производство" Донского государственного технического университета.

Родился 21 января 1938г. В 1960г. окончил Ростовский-на-Дону институт сельскохозяйственного машиностроения (РИСХМ) и с этого времени работает в нем: ассистентом, старшим преподавателем, доцентом, профессором и заведующим кафедрой. В 1967 году защитил кандидатскую, а в 1984 году - докторскую диссертацию.

С 1966 года Рыжкин А.А. являлся руководителем структурных подразделений вуза различного уровня: заместителем декана факультета "Технология машиностроения", деканом по работе с иностранными учащимися, проректором по международным связям, проректором по научной работе.

В 1988 году на конкурсной основе Анатолий Андреевич Рыжкин был избран ректором Ростовского-на-Дону института сельскохозяйственного машиностроения (РИСХМ). По его инициативе РИХМ в 1992г. был преобразован в Донской государственный технический университет (ДГТУ).

В течение 19 лет Анатолий Андреевич был бессменным ректором РИСХМа (ДГТУ). Он внес значительный вклад в развитие университета, превращение его в ведущий технический вуз машиностроительного профиля на Юге России.

А.А. Рыжкин - известный ученый в области трения износа, основатель и руководитель научного направления "Физико-химические и термодинамические основы управления износостойкостью инструментальных режущих материалов".

Он является автором более 300 научных трудов, в том числе 7 монографий.

Многие научные труды были опубликованы за рубежом.

Рыжкин А.А. внес большой вклад в дело подготовки специалистов, в том числе высшей квалификации. Он руководит аспирантурой и докторантурой. Им лично подготовлено 14 кандидатов и 5 докторов наук.

Рыжкин А.А. ведет большую общественную и научную деятельность. Он является действительным членом общественных академий Российской Федерации - технологических наук, проблем качества РФ, международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, возглавляет Ростовское региональное отделение академии проблем качества РФ. В течение последних 18 лет Анатолий Андреевич являлся председателем Совета ректоров вузов Ростовской области.

Активная научная и общественная деятельность А.А. Рыжкина отмечена высокими государственными наградами, в том числе орденами "За заслуги перед Отечеством" IV степени; "Знак почета". Он является лауреатом премии Президента Российской Федерации в области образования за цикл работ для технических высших учебных заведений.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ДГТУ»

1. Статья должна быть тщательно отредактирована и представлена в одном экземпляре, распечатанном через 1,5 интервала на белой бумаге форматом А4, поля: верхнее, нижнее, левое – 2,5 см, правое – 1,5 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 14. Одновременно текст статьи представляется на дискете (1,44 Мбайт) в формате текстового редактора «Word for Windows 6.0».

2. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности:

- инициалы и фамилии авторов;
- e-mail для переписки;
- полное название статьи;
- краткая (5-10 строк) аннотация;
- ключевые слова.

Затем идет текст самой статьи, список литературы.

Статья должна быть завершена рефератом на английском языке, включающем инициалы, фамилии авторов и полное название статьи.

Статья должна содержать разделы. Рекомендуется следующая рубрикация статьи: «Введение», «Постановка задачи», «Методы испытаний», «Результаты эксперимента и их обсуждение», «Выводы».

3. Объем статьи не должен превышать 10 страниц машинописного текста, 5 рисунков или фотографий; обзора – 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения – не более 3 страниц, 2 рисунков.

Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров «Excel», «Quattro Pro», «MS Graph». Каждый рисунок должен иметь подпись. Рисунки должны иметь контрастное изображение.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок.

4. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в формульном редакторе MS Word.

5. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.).

6. Список литературы должен быть оформлен по ГОСТ 7.1-2003.

7. На отдельной странице должны быть представлены краткие сведения об авторах статьи.

8. К статье должны быть приложены акты экспертизы, подтверждающие возможность ее опубликования в открытой печати.

9. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

10. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются, рукописи и дискеты авторам не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста.